

## WO9952004

Publication Title:

PROJECTION EXPOSURE APPARATUS AND METHOD, AND REFLECTION  
REFRACTION OPTICAL SYSTEM

Abstract:

A projection exposure apparatus has an illumination optical system 3 for illuminating a mask 4 formed with a pattern with b  
378

beams of radiation, and a projection optical system 7 for forming an image of the pattern on a workpiece 8 on the basis of radiation from the mask. The illumination optical system supplies an illumination radiation having a center wavelength of 180 nm or smaller, and the projection optical system includes at least one concave mirror, fifteen or less pieces of refracting lenses, and four or more aspherical surfaces.

-----  
Data supplied from the esp@cenet database - <http://ep.espacenet.com>

*This Patent PDF Generated by Patent Fetcher(TM), a service of Patent Logistics, LLC*

Patent provided by Sughrue Mion, PLLC - <http://www.sughrue.com>



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類6 G02B 17/08, H01L 21/027</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO99/52004</p> <p>(43) 国際公開日 1999年10月14日(14.10.99)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/01807</p> <p>(22) 国際出願日 1999年4月6日(06.04.99)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平10/111506 1998年4月7日(07.04.98) JP 特願平10/369233 1998年12月25日(25.12.98) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-0005 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 高橋友刀(TAKAHASHI, Tomowaki)[JP/JP] 塚本宏之(TSUKAMOTO, Hiroyuki)[JP/JP] 〒100-0005 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 井上義雄, 外(INOUE, Yoshio et al.) 〒103-0027 東京都中央区日本橋3丁目1番4号 画廊ビル3階 Tokyo, (JP)</p>		<p>(81) 指定国 US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
<p>(54)Title: PROJECTION EXPOSURE APPARATUS AND METHOD, AND REFLECTION REFRACTION OPTICAL SYSTEM</p> <p>(54)発明の名称 投影露光装置及び方法、並びに反射屈折光学系</p> <div data-bbox="191 1257 1430 1598"> </div> <p>(57) Abstract A projection exposure apparatus comprises an illumination optical system (3) for illuminating a mask (4) on which a pattern is formed and a projection optical system (7) for forming the image of the pattern on a work (8) based on radiation from the mask. The illumination optical system supplies illumination light with a center wavelength of below 180 nm, and the projection optical system has at least one concave mirror, at most 15 refraction lens, and at least 4 aspherical surfaces.</p>		

(57)要約

パターンが形成されたマスク 4 を照明するための照明光学系 3 と、前記マスクからの放射に基づいて前記パターンの像をワーク 8 上に形成するための投影光学系 7 とを有し、前記照明光学系は 180nm 以下の中心波長を有する照明光を供給し、前記投影光学系は、少なくとも 1 つの凹面鏡と、15 枚以下の屈折レンズとを有し、且つ 4 面以上の非球面とを有する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AL	アルバニア	EE	エストニア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AU	オーストラリア	FR	フランス	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LS	レソト	SK	スロヴァキア
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BE	ベルギー	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MA	モロッコ	TD	チャード
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MC	モナコ	TG	トーゴ
BJ	ベナン	GN	ギニア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BR	ブラジル	GW	ギニア・ビサオ	MG	マダガスカル	TZ	タンザニア
BY	ベラルーシ	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TM	トルクメニスタン
CA	カナダ	HR	クロアチア		共和国	TR	トルコ
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CH	スイス	IE	アイルランド	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MW	マラウイ	US	米国
CM	カメルーン	IN	インド	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	YU	ユーゴスラビア
CU	キューバ	JP	日本	NO	ノールウェー	ZA	南アフリカ共和国
CY	キプロス	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド	ZW	ジンバブエ
CZ	チェコ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KR	韓国	RO	ルーマニア		

## 明 細 書

## 投影露光装置及び方法、並びに反射屈折光学系

## 技術分野

- 5 本発明は、半導体素子、CCD等の撮像素子、液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッド等のデバイスの製造ライン中のリソグラフィ工程に用いられる投影露光装置に関する。また、本発明は、このような投影露光装置の投影光学系として用いられる反射屈折光学系に関する。また、本発明は、リソグラフィ工程において、このような投影露光装置を用いた投
- 10 影露光方法に関する。

## 背景技術

- LSIなどの集積回路の作製に際して、縮小投影露光装置が広く用いられている。縮小投影露光装置では、投影光学系を介してマスクパターンの縮小像を感光性基板であるウエハ上に形成する。近年では、半導体
- 15 基板上に投影露光する集積回路のパターンがますます微細化しており、投影露光装置の解像度をさらに向上させることが要求されている。

- 投影露光装置の解像度をさらに向上させるには、投影光学系の開口数(NA)を大きくすることや、露光波長を短くすることが必要とされる。
- 20 しかしながら、投影光学系のNAを所定の値以上に大きくすることは光学系の構成上難しい。また、投影光学系のNAを大きくすると利用することのできる焦点深度が小さくなり、その結果、理論上可能な分解能を実現することが困難となる。このため、現実的には、投影露光装置の解像度を向上させるために露光波長を短くすることが特に強く求められて
- 25 いる。

従来、露光光源として、波長が248nmのKrFエキシマレーザや



波長が193 nmのArFエキシマレーザが提案され、且つ実施されている。また、さらに波長の短い180 nm以下の光源の利用も検討されつつある。

波長が180 nm以下の露光光を発する光源としては、例えば発振波  
5 長が157 nmのF<sub>2</sub>レーザなどが存在するが、このような光源を用いた  
場合、次の問題を生じる。すなわち第1に、180 nm以下の波長の光  
束を透過するガラスは極端に少なくなり、第2に、反射防止膜に採用す  
る適当な物質が少ないために、良好な反射防止膜を形成することが困難  
となる。そのため、各レンズ面での光の反射率が高くなるから、特にレ  
10 ンズ枚数が多くなる高解像の投影光学系では、光量の低下が激しくなる。

また、波長が180 nm以下という短波長光に対して使用することの  
できる屈折光学材料の種類は限られている。そこで、屈折光学部材とし  
ては限られた硝材（光学材料）しか使用することのできない状況下でレ  
ーザ光の有する波長幅によって生じる色収差を除去（補正）しなくては  
15 ならない。

ところで、F<sub>2</sub>レーザの場合、その発振波長帯において光量損失の小さ  
い屈折光学部材や反射光学部材が存在しない。したがって、F<sub>2</sub>レーザに  
対して大掛かりな狭帯域化をすることは、KrFエキシマレーザやAr  
Fエキシマレーザなどの場合に比べて困難であるとされている。また、  
20 実用化されているF<sub>2</sub>レーザの強度が弱いため、狭帯域化を行うことによ  
り、露光光の強度が、ひいては露光速度がさらに低下し易い。換言する  
と、F<sub>2</sub>レーザの場合、狭帯域化による露光速度の低下の影響は他のレー  
ザの場合に比べて大きい。

しかしながら、波長157.6 nmのF<sub>2</sub>レーザの自然波長幅はArF  
25 エキシマレーザなどの自然波長幅よりもかなり小さいため、わずかな狭  
帯域化を施すことによりF<sub>2</sub>レーザの半値全幅を20 pm程度以下に

することができる。例えば、ラムダフィジック社（ドイツ）の NovaLine TMF500 では、比較的簡単な狭帯化により、半値全幅が 10 pm で出力が 10 W の  $F_2$  レーザを実用化している。そこで、露光光源として  $F_2$  レーザを用いる投影露光装置では、露光効率を上げるとともに、狭帯域化によるレーザ装置の複雑化を避けるために、この程度の半値全幅を有するレーザ光を使用することが望ましい。この場合、投影光学系では、10 pm ~ 20 pm 程度の波長幅に亘って従来よりも広帯域で色収差を除去しなければならない。なお、 $F_2$  レーザに関しては、狭帯化素子の追加により、半値全幅 2 pm 程度までの狭帯域化も可能である。

ところが、前述したように、180 nm 以下の波長域において、硝材として利用することができる種類が非常に限られているため、屈折光学系では色収差を十分に除去することは困難である。また、この波長域ではレンズ成分において内部吸収や表面反射などが起こるため、レンズ成分の枚数を多くすると光学系の光透過率が著しく低下してしまう。

また、たとえば  $F_2$  レーザ光のような 180 nm 以下の短波長光は、空気（酸素）による吸収率が高い。そのため、たとえば  $F_2$  レーザを露光光源として用いる投影露光装置では、空気による光吸収を回避して光学系の透過率の低下を避けるために、露光光（照明光）を吸収しにくい気体、すなわちヘリウム等の不活性ガスで光学系内の空気を置換する必要がある。

#### 発明の開示

したがって本発明は、180 nm 以下の波長の露光光を用いる場合、高解像を達成しつつ光量損失の低下を最低限に抑えることを第1の目的とする。

また、本発明は、180 nm 以下の波長の露光光を用いる場合、限ら

れた種類の光学材料で良好に色補正を行い、光量損失の低下を抑えつつも高解像を達成することを第2の目的とする。

また、本発明は、180nm以下の波長の露光光を用いる場合、クリーン度の低い気体による光吸収を良好に回避することによって投影光学系の高い透過率を確保することを第3の目的とする。

また、本発明は、開口数の増大および露光領域の拡大を図ったとしても、結像性能の劣化を抑え、微細なパターンを良好に形成することを第4の目的とする。

上記第1の目的を達成するために、本発明の第1の態様にかかる投影露光装置は、パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクからの放射に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための投影光学系とを有する。そして、前記照明光学系は180nm以下の中心波長を有する照明光を供給し、前記投影光学系は、少なくとも1つの凹面鏡と、15枚以下の屈折レンズとを有し、且つ4面以上の非球面とを有するものである。

上記第1の態様の投影露光装置において、前記屈折レンズは全て同一の材料によって形成されることが好ましい。この場合、前記屈折レンズの前記材料は、蛍石であることが好ましい。

上記第1の態様の露光装置において、前記照明光学系は、180nm以下の中心波長を有し且つ10 $\mu$ m以下の半値全幅を有する照明光を供給することが好ましい。

上記第1の態様にかかる投影露光装置において、前記屈折レンズは、蛍石を含むことが好ましい。

上記第1の態様にかかる投影露光装置において、前記投影光学系は前記マスクの中間像を形成し、且つ前記マスクと前記中間像との間の光路中に配置される第1結像光学系と、前記中間像と前記ワークとの間の光

- 路中に配置される第 2 結像光学系とを含み、前記第 1 及び第 2 結像光学系のうちの一方は前記少なくとも 1 つの凹面鏡を含み、他方は開口絞りを含むことが好ましい。この場合、前記少なくとも 1 つの凹面鏡は前記第 1 結像光学系中に位置し、前記開口絞りは前記第 2 結像光学系中に位置することが好ましい。

上記投影露光装置において、前記第 1 結像光学系からの光束を前記第 2 光学系へ導く反射鏡を有することが好ましい。

- 上記第 1 の態様にかかる投影露光装置において、前記非球面は、前記屈折レンズが有する 2 つのレンズ面のうちの一方のみに形成されることが好ましい。

- また、上記第 1 の目的を達成するために、本発明にかかる第 2 の態様は、凹面鏡を含む第 1 結像光学系によって、第 1 面の中間像を形成し、開口絞りを含む第 2 結像光学系によって、前記中間像の再結像を第 2 面上に形成し、前記第 1 結像光学系からの光束を前記第 2 結像光学系に導くように反射面を設けた反射屈折光学系であって、該反射屈折光学系は、15 5 枚以下の屈折レンズを有し、且つ 4 面以上の非球面を有するものである。

上記第 2 の態様にかかる反射屈折光学系において、前記屈折レンズはすべて同一の硝材によって形成されていることが好ましい。

- また、上記第 2 の目的を達成するために、本発明の第 3 の態様にかかる投影露光装置は、パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための反射屈折型の投影光学系とを備えた投影露光装置であって、前記照明光学系は、180 nm 以下の中心波長を有し且つ 20 p 25 m 以下の半値全幅を有する照明光を供給するように構成され、前記投影光学系は、レンズ成分と凹面反射鏡とを含み、前記レンズ成分および前

記凹面反射鏡は、前記照明光に対する前記投影光学系の色収差を実質的に補正するように位置決めされるものである。

また、上記第3の目的を達成するために、本発明の第4の態様にかかる投影露光装置は、パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための反射屈折型の投影光学系とを備えた投影露光装置であって、前記照明光学系は、180nm以下の中心波長を有し且つ所定値以下の半値全幅を有する照明光を供給するように構成され、前記投影光学系は、屈折力を有する光学部材と、前記マスクに近接して配置されて前記屈折力を有する光学部材を外部の雰囲気と隔てるための光透過性の光学部材を有し、前記投影光学系の光軸と平行な方向に沿った前記マスクと前記光透過性の光学部材との間の間隔は50mm以下に設定されるものである。

上記第4の態様にかかる投影露光装置において、前記光透過性の光学部材は、平行平板を有することが好ましい。この場合、前記平行平板は交換可能に設けられることが好ましい。

上記第4の態様にかかる投影露光装置において、前記照明光の半値全幅は20 $\mu$ m以下であることが好ましい。

上記第3および第4の態様にかかる投影露光装置において、前記投影光学系を構成する全てのレンズ成分および凹面反射鏡が共通の光軸に沿って配置されることが好ましい。

上記第3および第4の態様にかかる投影露光装置において、前記投影光学系は、ただ1つの凹面反射鏡、複数のレンズ成分、および1つまたは複数の平面反射鏡のみから構成されることが好ましい。

上記第3および第4の態様にかかる投影露光装置において、前記照明光の半値全幅は2 $\mu$ m以下であることが好ましい。

上記第 3 および第 4 の態様にかかる投影露光装置において、前記投影光学系は、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの一次像を形成するための第 1 結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記パターンの二次像を前記ワーク上に形成するための第 2 結像光学系とを有することが好ましい。この場合、前記第 1 結像光学系のレンズの最大有効径を  $h_1$  とし、前記第 2 結像光学系のレンズの最大有効径を  $h_2$  としたとき、

$$0.7 < h_1 / h_2 < 1.4$$

の条件を満足することが好ましい。

10 また、上記第 4 の目的を達成するために、本発明の第 5 の態様にかかる投影露光装置は、パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための反射屈折型の投影光学系とを備えた投影露光装置であって、第 1 の光軸に沿って配置された凹面反射鏡および屈折光学部材からなり、前記パターンの中間像を形成する第 1 結像光学系と、第 2 の光軸に沿って配置された屈折光学部材を有し、前記中間像の縮小像を前記ワーク上に形成する第 2 結像光学系と、前記第 1 結像光学系と前記第 2 結像光学系との間に配置された第 1 光路偏向部材と、前記第 1 光路偏向部材と前記第 2 結像光学系との間に配置された第 2 光路偏向部材とを備え、前記第 1 および第 2 の光軸は互いに平行であり、かつ前記第 1 および第 2 光路偏向部材の間には屈折光学部材が介在しないものである。

上記第 5 の態様において、前記縮小像は、前記パターン面に対して平行に形成され、前記第 1 および第 2 の光軸は、重力方向と実質的に平行に位置決めされることが好ましい。

25 また、本発明による露光方法は、露光光によりマスクを照明し、該マスク上のパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する露光方法で

あって、上記第 1、第 3、第 4 または第 5 の態様にかかる投影露光装置を用いて前記マスク上の前記パターンの像を前記ワーク上に形成するものである。

## 5 図面の簡単な説明

第 1 図は、本発明の実施態様にかかる投影露光装置の投影光学系の基本的な構成を概略的に説明する概念図である。

第 2 図は、本発明の実施態様においてウエハ W 面上において像形成に使用し得る領域すなわち使用可能領域 F R、および実際に露光に使用する露光領域 E R を示す図である。

第 3 図は、本発明の第 1 実施例および第 2 実施例にかかる投影露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

第 4 A 図は、第 1 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図であって、凹面反射鏡 M 2 とウエハ面（像面）とを結ぶ光軸を含みマスク面（物体面）に垂直な平面に沿った断面図である。

第 4 B 図は、第 4 A 図に対応する図であって、凹面反射鏡 M 2 とウエハ面（像面）とを結ぶ光軸を含みマスク面に平行な平面に沿った断面図である。

第 5 図は、第 1 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

第 6 図は、第 1 実施例における横収差（メリディオナルコマ収差）を示す図である。

第 7 A 図は、第 2 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図であって、凹面反射鏡 M 2 とウエハ面（像面）とを結ぶ光軸を含みマスク面（物体面）に垂直な平面に沿った断面図である。

第 7 B 図は、第 7 A 図に対応する図であって、凹面反射鏡 M 2 とウエ

ハ面（像面）とを結ぶ光軸を含みマスク面に平行な平面に沿った断面図である。

第 8 図は、第 2 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

- 5 第 9 図は、第 2 実施例における横収差（メリディオナルコマ収差）を示す図である。

第 10 図は、本発明の第 3 実施例および第 4 実施例にかかる投影露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

- 10 第 11 図は、第 3 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図であって、反射屈折光学系 A の光軸 A X 1 と屈折光学系 B の光軸 A X 2 とを含む平面に沿った断面図である。

第 12 図は、第 3 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

- 15 第 13 図は、第 3 実施例における横収差（メリディオナルコマ収差）を示す図である。

第 14 図は、第 4 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図であって、反射屈折光学系 A の光軸 A X 1 と屈折光学系 B の光軸 A X 2 とを含む平面に沿った断面図である。

- 20 第 15 図は、第 4 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

第 16 図は、第 4 実施例における横収差（メリディオナルコマ収差）を示す図である。

第 17 図は、本発明による反射屈折光学系の第 5 実施例を示す断面図である。

- 25 第 18 図は、第 5 実施例の球面収差、非点収差及び歪曲収差図である。

第 19 図は、第 5 実施例の横収差図である。



第20図は、本発明による反射屈折光学系の第6実施例を示す断面図である。

第21図は、第6実施例の球面収差、非点収差及び歪曲収差図である。

第22図は、第6実施例の横収差図である。

5 第23図は、第6実施例の複数波長での横収差図である。

第24図は、本発明にかかるデバイス製造方法の実施の形態の一例を示すフローチャート図である。

#### 実施形態

10 本発明は、波長が180nm以下の露光光を用いることを前提としており、このような短波長域においては、光の吸収のため実用に耐える光学ガラスが限られてくる。このような場合、屈折光学系だけで投影光学系を構成したのでは、色収差補正がまったく不可能となる。従って要求される解像力を有し、しかも屈折光学系のみで構成された投影光学系を  
15 作ることは、非常に難しいものとなる。

これに対して、反射系のみで投影光学系を構成することも試みられているが、この場合、多数の反射面が必要となり、投影光学系が大型化し、かつ反射面の非球面化が必要となる。しかるに高精度の非球面は製作の面で極めて困難である。さらに、180nm以下の短波長光に対する反  
20 射面の反射率が低いため、多数の反射面における光量損失が大きく、露光速度（スループット）が低下してしまう。また、感光性基板上において使用可能な像領域すなわち使用可能領域が狭いため、実際に露光に使用する領域として矩形状の露光領域を確保することが困難であるため好ましくない。

25 そこで、本発明では、反射系と、使用波長に使える光学ガラスからなる屈折系とを組み合わせたいわゆる反射屈折光学系によって、縮小投影

光学系を構成する技術を採用している。

およそ一般的にあって、球面レンズに代えて非球面レンズを用いると、収差補正の自由度が多くなり、使用レンズ枚数を削減することができる。すなわち、適切な場所での1面の非球面の使用は、確実に1種類の収差を部分的に補正することができるため、その分、使用するレンズ枚数を削減することができる。したがって、多くの非球面を使用することにより、それだけ多くの収差補正に効果があり、レンズ枚数も少なくて済むことになる。

しかし、無制限に多数の非球面を使用すれば良いと言うものでもなく、ある程度の面数に非球面を採用すると、次第に効果が薄れてくる。また、非球面は製造が困難であることも考慮すると、なるべく少ない枚数で、より高い効果を得ることが必要である。そのためには、適用場所を厳選することが避けられない。

そこで、本発明の第1及び第2の態様では、まず球面収差を補正するために、開口絞り付近に1面の非球面を採用し、次に歪曲収差を補正するために、第1面の近傍或いは中間像付近に1面採用する。さらに、コマ収差を補正するために、開口絞りと像との間に1面採用し、さらに、非点収差補正のために、第1面と凹面鏡との間に1面採用する。

このように、少なくとも4面の非球面を採用することにより、レンズ枚数を削減することができ、光量の低下を最低限にとどめることができる。

あとに残る像面湾曲収差は、ペッツバール和をゼロにすることができるという反射屈折光学系の特徴により、完全に補正することができる。また色収差が少ないことも反射屈折光学系の特徴であるため、これですべての収差を良好に補正することができるのである。

以上のように、その目的に合った場所の少なくとも4箇所に、その目

的に合った形状の非球面を配置することにより、ほとんどの収差を同時に補正することができる。こうして、後述する本発明の実施例にも示しているように、レンズ枚数が大幅に削減された、劇的に小型の投影光学系を得ることができる。すなわち本発明の第1及び第2の態様によれば、  
5 最小の非球面要素を使いながら、最大の効果を得ることができるのである。

もちろん、さらに4面を越えた追加の非球面を採用し、高次のコマ収差や非点収差のような残収差を補正することも可能であり、これにより、さらにレンズ枚数を削減することができる。

10 さて、本発明が前提とする使用波長域では、使用可能なレンズ材料の種類が非常に限定されたものとなるため、製造コスト削減の観点では、屈折レンズは全て同一の材料によって形成されることが望ましい。

この場合において、使用可能なレンズ材料のなかでは、製造・入手の容易性や性能の観点に立つと、屈折レンズの前記材料は蛍石であることが好ましい。  
15

また、上述のように屈折レンズが全て同一の材料で構成される場合には、照明光学系が供給する照明光（露光光）は、10  $\mu\text{m}$ 以下の半値全幅を有することが好ましい。

また、本発明の第1及び第2の態様において、投影光学系は、マスク  
20 の中間像を形成し且つマスクと中間像との間の光路中に配置される第1結像光学系と、中間像と前記ワークとの間の光路中に配置される第2結像光学系とを含む構成とすることが好ましく、第1及び第2結像光学系のうち的一方は前記少なくとも1つの凹面鏡を含み、他方は開口絞りを含むことが好ましい。この場合において、開口絞りを含む結像光学系は  
25 屈折光学系で構成されること（或いは投影光学系が1つのみの凹面鏡を有すること）が好ましい。

近年においては、マスク上のパターンの種類に応じて、照明光学系の開口数 $NA$ と投影光学系の開口数 $NA$ の比である $\sigma$ 値を可変にすることが行われる。このとき、開口絞りを含む結像光学系が反射屈折光学系であると、有効な絞り設置部分がどこにも採れないことになる。

- 5      また近年、投影光学系の瞳面またはその近傍に瞳フィルタを配置して超解像を行うことも提案されているが、開口絞りを含む結像光学系が反射屈折光学系であると、この瞳フィルタを配置することが不可能となる。

また、上述の構成において、少なくとも1つの凹面鏡は前記第1結像光学系中に位置し、開口絞りは前記第2結像光学系中に位置することが  
10    好ましい。この場合、第1結像光学系によって第1面の中間像を形成し、第2結像光学系によって中間像の再結像を第2面上に形成し、第1結像光学系からの光束を第2結像光学系へ導くように反射面を設け、第1結像光学系を、凹面鏡と該凹面鏡への入射光と反射光との双方が透過する  
15    レンズ群とからなる往復光学系を有するように形成した2回結像光学系となる。

このような2回結像光学系によれば、凹面鏡の径を縮小させることができ、投影光学系の開口数を可変にするために有効な絞り設置部分を確保でき、さらに光学系の明るさを十分にとりながら、なおかつウエハと対物レンズの端面との距離、いわゆるワーキングディスタンスを長く採  
20    ることが可能である。

この構成に対して、凹面鏡で往復光路を形成している往復光学系を縮小側の第2面側に採用するタイプの反射屈折光学系では、光学系の必要な明るさを確保するためには、光束が広がって凹面鏡に入射することになり、凹面鏡の小型化を図ることが困難になるため好ましくない。さら  
25    に、このタイプ（第2結像光学系が往復光学系であるタイプ）の光学系では、縮小倍率の関係から反射ミラーで反射した後ウエハまでの距離が

長く採れないため、この光路中に挿入される対物レンズのレンズ枚数が  
 そう多く採れず、そのため得られる光学系の明るさは限られたものとな  
 らざるを得ないため好ましくない。たとえ高NAの光学系が実現できて  
 も、限られた長さに多くの光学部材が挿入されるため、ウエハと対物レ  
 ンズの端面との距離、いわゆるワーキングディスタンスWDが長く採れ  
 ないため好ましくない。

上述のような２回結像光学系とする場合、凹面鏡で往復光路を形成している往復光学系中には、正屈折力を有するレンズが配置されることが好ましい。ここで、往復光学系中に負レンズのみが採用されると、光束が広がって凹面鏡へ入射することになり、凹面鏡の径が大きくなりすぎるため好ましくない。

また、上述のような２回結像光学系とする場合、往復光学系は完全対称型とすると、第１面付近でのワーキングディスタンスの確保がしにくくなり、またハーフプリズム等を使用する必要性が生じるため好ましくない。

また、本発明では、第 1 結像光学系からの光束を前記第 2 光学系へ導く反射鏡を有することが好ましい。2 つの結像光学系を有する投影光学系においては、光路の光軸を途中で偏心（光路の折り曲げ）させることが多いが、上述のように構成すると、そのいわゆる偏心光学系の偏心部分（光路の折り曲げ部分）の調整作業を容易とすることができ、高精度な系の実現が容易となる。

本発明における少なくとも４面の非球面は、屈折レンズが有する２つのレンズ面のうち的一方のみに形成される、すなわち片側非球面レンズとすることが好ましい。これにより、非球面レンズの製造や、この非球面レンズの投影光学系への組み込み調整作業が容易となる利点がある。

また、反射面の高精度な非球面化は製作の面で極めて困難であるため、

本発明における少なくとも4面の非球面は、15枚以下の屈折レンズの何れかに設けることが好ましい。

さて、反射屈折型の光学系では、屈折光学系において必然的に生じることになる軸上色収差を、反射屈折光学系の負レンズにより発生する反対方向の色収差で相殺（キャンセル）することによって、色収差を良好に補正することができる。したがって、色収差の補正を良好に行うためには、屈折光学系で発生する色収差を抑えるか、あるいは反射屈折光学系の負レンズの色収差補正効果を強める必要がある。

近軸収差論によると、軸上色収差の発生量は概して、レンズのパワー（屈折力）に比例し、近軸周辺光線の入射高の2乗に比例する。そこで、反射屈折光学系の負レンズの色収差補正効果を強めるには、負レンズのパワーを強めるか、あるいは負レンズへの入射光束を太くすれば良いことになる。

しかしながら、負レンズのパワーを強めた場合、レンズ面の曲率半径が小さくなり、光線の入射角が大きくなる。その結果、高次収差が発生し、色収差以外の収差を除去することが困難となる。ただし、負レンズのパワーを強めた場合の収差に関しては、非球面を導入することによりかなり効果的に収差を除去することができる。

一方、負レンズへの入射光束を太くした場合、軸上色収差を比較的容易に除去することができる。しかしながら、負レンズへの入射光束を太くすると、レンズや反射鏡等の光学素子が大きくなり、その光学素子を所要の精度で製作することが困難となる。したがって、負レンズへの入射光束を太くすることには限界がある。

次に、屈折光学系において軸上色収差があまり発生しないようにするには、反射屈折光学系の場合とは逆に、レンズのパワーを弱めるか、あるいはレンズへの入射光束が太くならないように構成すれば良い。その

ためには、他のレンズへの入射光束を太くし且つ必要な正レンズのパワーを増加させることになる負レンズの存在は不利であり、屈折光学系における負レンズの使用は控えめにすべきである。ただしその場合、球面レンズのみでは球面収差などの除去ができないので、非球面を使用することが必要となる。非球面を導入すると、球面系よりも少ないレンズ枚数で収差を抑えることができるという利点もある。しかしながら、非球面を導入したとしても正レンズだけではペッツバル和を調節することができないため、像面湾曲収差は必然的に生じることになる。ただし、像面湾曲に関しては、反射屈折光学系の凹面反射鏡や負レンズの効果により打ち消すことができる。

以上の理由により、本発明の第3の態様では、180 nmの短波長域においても、10～20 pm程度の広帯域の波長幅に亘る色収差補正を達成するために、反射屈折型の投影光学系を用いている。そして、反射屈折型の投影光学系において凹面鏡を含むように構成しているため、この凹面鏡で色収差を発生させることなくペッツバル和を補正可能となり、投影光学系中の負レンズの色収差補正機能を高めることが可能となる。さらに、本発明の第3の態様では、180 nm以下の波長域において光量損失を招く反射面の数を少なくすることができるため、露光速度（スループット）の低下を抑えることが可能である。

一方、空気による光の吸収を避けるためには、マスク（レチクル）やウエハを含む光学系全体を気密状態に構成し、光を吸収しにくいヘリウム等の不活性ガスに置換することが好ましい。しかしながら、投影露光装置の使用中にマスクやウエハは移動を繰り返すため、マスクやウエハを含む光学系全体を気密状態に構成することは困難である。

そこで、本発明にかかる第4の態様では、マスクの近傍およびウエハの近傍に光透過性の光学部材を配置し、屈折力を有する他の光学部材（レ

レンズ、凹面反射鏡、凸面反射鏡、回折光学素子などを含む)を外部の雰囲気と隔てるために、マスク近傍の光学部材からウエハ近傍の光学部材までの間を気密状態に保つように構成している。

5 一般に、投影光学系ではウエハに近接してレンズが配置されるので、本発明の第4の態様ではマスクの近傍に光透過性の光学部材を付設する。なお、光透過性の光学部材としては、レンズを使用してもよいし平行平面板を使用してもよい。ただし、加工や取り扱いの容易な平行平面板を使用すれば、表面が汚れたときなどでも光学系の性能を保ちつつ比較的容易に平行平面板を交換をすることができる。投影光学系の内部を気密  
10 状態に保った場合、汚れが付着するのは外部に露出している部分、すなわちマスク側の平行平面板やウエハ側のレンズに限られる。本発明では、汚れが付着し易いマスク側の平行平面板を交換することにより、投影光学系の耐久性や保守性を向上させることができる。

さらに、投影光学系の組立ておよび粗調整が完了した後でも、マスク  
15 の近傍に配置した平行平面板の表面に微小加工を施すことにより、投影光学系に残留した諸収差を補正することが可能である。特に、縮小型の投影光学系の場合は、マスクの近傍に配置した平行平面板を微小加工をすることにより、歪曲収差を効果的に補正することができる。

20 なお、必要に応じて、ウエハの近傍にも平行平面板を付設することができる。この場合、ウエハの近傍に配置された平行平面板を微小加工をすることにより、球面収差やコマ収差を効果的に補正することができる。

上記第4の態様において、前記照明光の半値全幅は20 p m以下であることが好ましい。

25 さて、本発明の第3及び第4の態様の投影露光装置においては、投影光学系を構成するすべてのレンズ成分および凹面反射鏡が共通の光軸に沿って配置されることが好ましい。この場合、投影光学系は、ただ1つ



の凹面反射鏡、複数のレンズ成分、および1つまたは複数の平面反射鏡のみから構成されていることが好ましい。

また、本発明の第3及び第4の態様にかかる投影露光装置において、前記投影光学系は、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの一次像を形成するための第1結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記パターンの二次像を前記ワーク上に形成するための第2結像光学系とを有することが好ましい。

また、上述のようにマスクパターンの一次像を形成する第1結像光学系と、この一次像からの光に基づいてマスクパターンの二次像をワーク上に形成する第2結像光学系とを有する場合においては、ワーク上に規定される露光領域（或いはマスク上の視野領域）として光軸から外れた領域を使用すること、すなわち軸外し光学系で使用することが好ましい。この場合、光軸を含む領域を露光（視野）領域として利用するタイプの光学系と比べると、像面積を広く確保することが比較的難しいという不都合はあるが、光量の低下が少なく、結像光束の遮蔽がないために像質が良く、各光学部材の製作が他のタイプに比して容易である、という優れた利点を有する。そして、上記構成の場合（軸外しで使用する場合）、ビームスプリッタを使用することなく、凹面鏡へ向かう光路と凹面鏡からの光路とを分離することができる利点がある。なお、本発明の前提となる180nm以下の短波長光に対して高い透過率を有するプリズムを製造することは困難であり、180nm以下の短波長光に対して偏光分離を行うための偏光反射膜や波長板を製造することは困難である。さらに、上記構成の場合（軸外しで使用する場合）、反射鏡の中央に開口を設けることなく光路を形成することが可能であるため、結像光学系の光路中において結像光束の一部が反射鏡の中央開口部で遮られることによるパターン像の忠実度が低下する恐れはない。従って、回路パターンを高

精度に転写する際に有利となる。

また、本発明にかかる第 3 及び第 4 の態様の投影露光装置においては、照明光学系が供給する照明光の半値全幅は  $2\ \mu\text{m}$  以下であることが好ましい。照明光の半値全幅を  $2\ \mu\text{m}$  程度以下とすることによって、投影光学系のレンズ成分の枚数をさらに削減することが可能となり、投影光学系自体の透過率のさらなる向上が図れ、装置の製造コストを抑えつつも露光速度（スループット）を向上できる利点がある。

また、本発明の第 5 の態様では、光路偏向部材を有する投影光学系であっても、その内部の全てのレンズ成分を光軸が互いに平行となるように保持できる。これにより、レンズ成分において光軸に対して非対称に変形することをほぼ防止でき、投影光学系の開口数の増大や露光領域の増大に伴って光学部材の大型化が図られても、製造時に補正することが困難な非対称収差の発生を防ぐことが可能となる。なお、本発明の第 5 の態様において、前記縮小像は、前記パターン面に対して平行に形成され、前記第 1 および第 2 の光軸は、重力方向と実質的に平行に位置決めされることが好ましい。

また、本発明にかかる第 1、第 3、第 4 及び第 5 の態様の投影露光装置においては、投影光学系を介して前記感光性基板上で規定される露光領域は矩形状であることが好ましい。

次に、図面を参照して各実施例について説明する。

第 1 図は、各実施例の投影光学系の基本的な構成を概略的に説明する概念図である。

第 1 図に示すように、各実施例の投影光学系は、中間像 I を挟んで前側（マスク側）部分の反射屈折光学系 A と、後側（ウエハ側）部分の屈折光学系 B とから構成されている。すなわち、マスク R からの光に基づいて反射屈折光学系 A からなる第 1 結像光学系により中間像 I が形成さ

れ、中間像 I からの光に基づいて屈折光学系 B からなる第 2 結像光学系によりウエハ W 上にマスクパターン像が形成される。

5 投影光学系の光軸は凹面反射鏡により折り返され、あるいは光路分離のために配置される反射面（第 1 図では不図示）により折り曲げられることはあるが、光路分離用の反射面を除くすべての反射光学部材および屈折光学部材は光軸上に配置されている。以下、反射屈折光学系 A および屈折光学系 B の説明に際して、光路折り曲げ用の反射面の存在を除いて考えるものとする。

10 反射屈折光学系 A は、複数枚のレンズ（G 1、G 2）と、1 枚の凹面反射鏡（M）とからなる。反射屈折光学系 A の光軸は、凹面反射鏡 M によって折り返されている。凹面反射鏡 M での光路の折り返しによる光線の干渉を避けるために、すなわち凹面反射鏡 M への入射光と凹面反射鏡 M からの射出光とを分離するために、物体面であるマスク R 面を光軸から外す（偏心させる）必要がある。また、マスク R の光軸からの偏心に  
15 対応して、ウエハ W 面も光軸から偏心させる必要がある。

また、収差の発生を良好に抑えるために、反射屈折光学系 A の開口絞りに相当する位置の近傍に凹面反射鏡 M を配置し、凹面反射鏡 M を中心としてほぼ対称で且つほぼ等倍の光学系とすることが好ましい。

20 反射屈折光学系 A において凹面反射鏡 M に最も近い位置には、全体として負の屈折力を有するレンズ群 G 2 が配置されている。なお、本明細書において、レンズ群とは、1 枚の単レンズも包含するような広い概念である。この負レンズ群 G 2 により、屈折光学系 B で発生する軸上色収差を良好に補正する。広視野の投影光学系において広帯域で色収差を良好に補正するには、負レンズ群 G 2 は非球面レンズを利用するか、ある  
25 いは複数枚のレンズを使用することが望ましい。

負レンズ群 G 2 とマスク R との間の光路中には、全体として正の屈折

力を有する正レンズ群（少なくとも一枚の正レンズからなるレンズ群）  
G 1 が配置されている。正レンズ群 G 1 は、マスク R からの光束にテレ  
セントリシティを持たせる機能を有し、これにより、物体側（マスク側）  
のフォーカスの変動に対する耐性を持たせることができる。また、歪曲  
5 収差を除去したり、中間像 I において像面湾曲収差が発生し過ぎないよ  
うにするためにも、正レンズ群 G 1 は有用である。

反射屈折光学系 A により形成される中間像 I では、色収差を除く諸収  
差が良好に補正されていることが好ましい。しかしながら、反射屈折光  
学系 A を構成するレンズの枚数を減らした場合には、中間像 I において  
10 像面湾曲などの収差がある程度残存することはやむを得ない。

一方、屈折光学系 B は、開口絞り S を挟んでマスク側に配置された正  
レンズ群 G 3 とウエハ側に配置された正レンズ群 G 4 とから構成されて  
いる。すなわち、屈折光学系 B は、凹面反射鏡を含むことなくレンズの  
ような屈折光学部材のみからなる光学系である。反射屈折光学系 A では  
15 凹面反射鏡により光路が折り返されるため光路中に開口絞りを配置す  
ることができないので、投影光学系の開口絞り S は屈折光学系 B の光路中  
に配置されている。

前述のように、屈折光学系 B における軸上色収差の発生を良好に抑え  
るためには、レンズへの入射光束が太くなりすぎないようにすることが  
20 有利である。しかしながら、この場合にもレンズのパワーを強めること  
により諸収差が発生するので、レンズの有効径の大きさは次の条件式

(1) を満足することが好ましい。

$$0.7 < h_1 / h_2 < 1.4 \quad (1)$$

ここで、 $h_1$  は、第 1 結像光学系である反射屈折光学系 A のレンズの  
25 最大有効径である。また、 $h_2$  は、第 2 結像光学系である屈折光学系 B  
のレンズの最大有効径である。

条件式（１）の下限値を下回ると、 $h_1/h_2$ の値が小さくなりすぎて、色収差の除去が困難となるので好ましくない。

一方、条件式（１）の上限値を上回ると、 $h_1/h_2$ の値が大きくなりすぎて、屈折光学系Ｂで球面収差等の補正が困難となるか、または反  
5 射屈折光学系Ａの光学部材が大きくなりすぎて製作が困難となるので、  
好ましくない。

なお、条件式（１）を満たす範囲内であっても、屈折光学系Ｂでの収差補正のためには非球面を用いることが有利である。

上述したように、第１図に示す本発明の投影光学系では、反射屈折光  
10 学系ＡにおいてマスクＲから凹面反射鏡Ｍへ入射する光束と凹面反射鏡  
Ｍで反射されて屈折光学系Ｂへ向かう光束とを分離する必要がある。そ  
の結果、第２図に示すように、ウェハＷ面上において像形成に使用し得  
る領域すなわち使用可能領域ＦＲは、収差の取り除かれた光軸ＡＸを中  
心とする円形領域のうちの半分の領域となる。そして、本発明において  
15 実際に露光に使用する露光領域ＥＲは、たとえば半円状の使用可能領域  
ＦＲから光軸ＡＸに近い境界領域部分などを取り除いた矩形状の領域と  
なる。これに対応して、投影光学系を介してマスクＲ上で規定される視  
野領域（照明領域）も矩形状となる。

また、本発明の実施例では、マスクＲの近傍に平行平板のような光  
20 透過性の光学部材Ｐ１を配置している。具体的には、投影光学系の光軸  
（あるいは光軸と平行な方向）に沿ったマスクＲと平行平板Ｐ１との  
間の間隔は５０ｍｍ以下に設定されている。必要に応じて、ウェハＷの  
近傍に平行平板のような光透過性の光学部材Ｐ２を配置することもで  
きる。したがって、マスクＲの近傍に配置された平行平板Ｐ１からウ  
25 エハＷの近傍に配置された平行平板Ｐ２（あるいは最もウェハ側のレ  
ンズ）までの光学系内部を気密状態に保ち、露光光を吸収しにくいヘリ

ウム (He) や窒素 (N<sub>2</sub>) などの不活性ガスで光学系内部に満たすことができる。

すなわち、マスク R と平行平板 P 1 との間の狭い光路およびウエハ W とこれに近接する光学部材との間の狭い光路を除き、マスク R からウエハ W までの光路のほぼ全部を、光吸収しにくいヘリウムなど不活性ガスで満たすことができる。その結果、露光光として F<sub>2</sub> レーザ光のような短波長光を用いても、光の吸収を有効に回避することができ、投影光学系の透過効率を向上させることができる。

ここで、露光光として F<sub>2</sub> レーザ光のような 180 nm 以下の波長の短波長光を用いる場合には、マスク R と平行平板 P 1 との間の狭い光路およびウエハ W とこれに近接する光学部材との間の狭い光路についても不活性ガスが充填されることになる。しかしながら、これらの光路には、移動可能なマスクステージ 6 や移動可能なウエハステージ 10 が配置され、これらの可動部材からの発塵やグリスなどの飛散の影響により、この不活性ガス自体のクリーン度（清浄度）が投影光学系内部の光路（平行平板 P 1 から平行平板 P 2 または最もウエハ側のレンズまでの光路）のクリーン度に比べて低下する恐れが大きい。従って、マスク R からウエハ W までの光路の全てが不活性ガスで充填されていたとしても、本発明ではクリーン度の低い光路を非常に短くできる、言いかえるとクリーン度の低い光路を分離できるため、光量損失低減の効果をさらに向上できる。

ここで、マスク R と平行平板 P 1（マスクに近接して配置されて屈折力を有する光学部材を外部の雰囲気から隔てるための光学部材）との光軸に平行な方向に沿った間隔が 50 mm を超えて長くなると、上述のようにクリーン度の低い光路が長くなり過ぎて、光量損失が増大する恐れが高くなるため好ましくない。

また、マスク R と平行平板 P 1 との光軸に平行な方向に沿った間隔が 1 mm 以下となる場合には、平行平板 P 1 とマスクステージとを干渉させないようにマスクステージを設計することが非常に困難となり、マスクステージ自体の精度を向上させることが困難となるため好ましくない。また、マスク R と平行平板 P 1 との光軸に平行な方向に沿った間隔が 5 mm 以下となる場合には、マスクステージの精度を維持しつつマスク R と平行平板 P 1 とを干渉させない設計が要求されるため好ましくない。また、マスク R と平行平板 P 1 との光軸に平行な方向に沿った間隔が 20 mm 以下となる場合には、現存のマスクステージの小改良では、マスク R と平行平板 P 1 との干渉を避けられないため好ましくない。

また、前述のように、平行平板の使用により、投影光学系の耐久性および保守性を向上させ、投影光学系の組立後に残存収差の補正を行うこともできる。

15

以下、本発明にかかる数値実施例を説明する。

〔第 1 実施例および第 2 実施例〕

第 3 図は、本発明の第 1 実施例および第 2 実施例にかかる投影露光装置の全体構成を概略的に示す図である。なお、第 3 図において、ウエハ面の法線方向に Z 軸を、ウエハ面内において第 3 図の紙面に平行に X 軸を、紙面に垂直に Y 軸を設定している。また、第 3 図において、重力方向は Z 軸と同じ方向である。

20

図示の投影露光装置において、F<sub>2</sub> レーザ（発振中心波長 157.6 nm）1 から Z 方向に射出された光は、折り曲げミラー 2 で X 方向に偏向された後、照明光学系 3 を介してマスク 4 を均一に照明する。

25

なお、第 3 図では、光源 1 から照明光学系 3 までの光路に 1 枚の折り

曲げミラー 2 しか図示していないが、実際には、光源 1 と投影露光装置本体とが別体である場合に、光源 1 からの  $F_2$  レーザ光の向きを常に投影露光装置本体へ向ける自動追尾ユニットや、光源 1 からの  $F_2$  レーザ光の光束断面形状を所定のサイズ・形状に整形するための整形光学系、光量調整部などの光学系が配置される。また、第 3 図に示した照明光学系 3 は、例えばフライアイレンズや内面反射型インテグレートタからなり所定のサイズ・形状の面光源を形成するオプティカルインテグレートタや、マスク 4 上での照明領域のサイズ・形状を規定するための視野絞り、この視野絞りの像をマスク上へ投影する視野絞り結像光学系などの光学系を有している。第 3 図の例では、光源 1 と照明光学系 3 との間はケーシング C 1 で密封されており、光源 1 から照明光学系 3 中の最もマスク R 側の光学部材までの空間はヘリウムガスなどの不活性ガスで置換されている。なお、光路の折り曲げ方は第 3 図に示される態様には限られず、装置の設計に合わせて適宜変更可能であることは言うまでもない。

マスク 4 は、マスクホルダ 5 を介して、マスクステージ 6 上において Y Z 平面に平行に保持されている。マスク 4 には転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうち Z 方向に沿って長辺を有し且つ Y 方向に沿って短辺を有する矩形状のパターン領域が照明される。

マスクステージ 6 は、図示を省略した駆動系の作用によりマスク面（すなわち Y Z 平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はマスク移動鏡 1 1 を用いた干渉計 1 2 によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

マスク 4 に形成されたパターンからの光は、投影光学系 7 を介して、感光性基板であるウエハ 8 上にマスクパターン像を形成する。ウエハ 8 は、ウエハホルダ 9 を介して、ウエハステージ 1 0 上において X Y 平面に平行に保持されている。そして、マスク 4 上での矩形状の照明領域に



光学的に対応するように、ウェハ 8 上では X 方向に沿って長辺を有し且つ Y 方向に沿って短辺を有する矩形状の露光領域にパターン像が形成される。

5      ウエハステージ 10 は、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ面（すなわち X Y 平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウエハ移動鏡 13 を用いた干渉計 14 によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

10      また、図示の投影露光装置では、投影光学系 7 を構成する光学部材のうち最もマスク側に配置された平行平板 P 1 と最もウエハ側に配置されたレンズ L<sub>r</sub> との間で投影光学系 7 の内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系 7 の内部の気体は露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスで置換されている。同様に、光源 1 から照明光学系 3 までの光路もヘリウムガスで置換されている。

15      そして、照明光学系 3 と平行平板 P 1 との間の狭い光路には、マスク 4 及びマスクステージ 6 が配置されるが、これらマスク 4 及びマスクステージ 6 を密封包囲するケーシング C 2 の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスを充填することにより、上記照明光学系 3 と平行平板 P 1 との間の光路が不活性ガスで置換される。また、レンズ L<sub>r</sub> とウエハ 8 との間の狭い光路には、ウエハ 8 及びウエハステージ 10 などが  
20      配置されるが、これらウエハ 8 及びウエハステージ 10 を密封包囲するケーシング C 3 の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスを充填することにより、上記レンズ L<sub>r</sub> とウエハ 8 との間の狭い光路が不活性ガスで置換される。ただし、これらの光路においては、機械的に可動する部材（マスクステージ 6、ウエハステージ 10 など）が配置されている  
25      ため、これらの部材が移動することによる気体のクリーン度の低下は避けがたい。

なお、マスクを交換するためのロボットアームやウェハを交換するためのロボットアームは、上記光路のクリーン度を向上させるために、これらのケーシングC 2, C 3とは別体のケーシング内に収められることが好ましいが、それでも投影光学系7の内部気体のクリーン度よりは低  
5 くなりがちである。

このように、光源1からウェハ8までの光路において露光光がクリーン度の低い気体を通過する個所は、照明光学系3とマスク4との間の狭い光路中、マスク4と平行平板P 1との間の狭い光路中およびレンズL rとウェハ8との間の狭い光路中である。

10 上述したように、投影光学系7によって規定されるマスク4上の視野領域（照明領域）およびウェハ8上の投影領域（露光領域）は、Y方向に沿って短辺を有する矩形状である。したがって、駆動系および干渉計（12、14）などを用いてマスク4およびウェハ8の位置制御を行いながら、矩形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちY方向に  
15 沿ってマスクステージ6とウェハステージ10とを、ひいてはマスク4とウェハ8とを同期的に移動（走査）させることにより、ウェハ8上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウェハ8の走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してマスクパターンが走査露光される。このように、第1実施例および第2実施例では、マスク面とウェハ面とが  
20 直交しているが、その走査方向が水平方向になるように設定されている。

各実施例（後述の第3実施例乃至第6実施例も含めて）において、投影光学系7を構成するすべてのレンズ成分および平行平板には蛍石（CaF<sub>2</sub>結晶）を使用している。

また、露光光であるF<sub>2</sub>レーザ光の発振中心波長は157.6 nmであり、157.6 nm付近ではCaF<sub>2</sub>の屈折率は、+1 pmの波長変化あたり-2.4 × 10<sup>-6</sup>の割合で変化し、-1 pmの波長変化あたり+2.  
25

$4 \times 10^{-6}$  の割合で変化する。また、ウエハ 8 上の露光領域 E R は  $25 \text{ mm} \times 6.6 \text{ mm}$  の矩形状であり、光軸 A X から露光領域 E R までの距離 L X は  $4 \text{ mm}$  である（第 2 図参照）。すなわち、各実施例の投影光学系による露光領域 E R は光軸 A X から偏心した位置にある。

- 5      また、各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを  $y$  とし、非球面の頂点における接平面から高さ  $y$  における非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を  $Z(y)$  とし、頂点曲率半径を  $r$  とし、円錐係数を  $\kappa$  とし、 $n$  次の非球面係数を  $C_n$  としたとき、以下の数式 (a) で表される。

10      
$$Z(y) = \frac{y^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)y^2/r^2}} + C_4y^4 + C_6y^6 + C_8y^8 + C_{10}y^{10} \quad (a)$$

各実施例において、各非球面の円錐係数  $\kappa$  はすべて 0 である。また、非球面状に形成されたレンズ面には面番号の右側に \* 印を付している。

15      〔第 1 実施例〕

- 第 4 A 図は、第 1 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図であって、凹面反射鏡 M 2 とウエハ面（像面）とを結ぶ光軸を含みマスク面（物体面）に垂直な平面に沿った断面図である。また、第 4 B 図は、第 4 A 図に対応する図であって、凹面反射鏡 M 2 とウエハ面（像面）とを結ぶ光軸を含みマスク面に平行な平面に沿った断面図である。ただし、  
20      第 4 B 図では、図面の明瞭化のために、反射鏡 M 1 を省略し、反射鏡 M 1 からマスク R（第 3 図では参照符号 4 に対応）までの光路を紙面上で展開している。第 1 実施例では、中心波長が  $157.6 \text{ nm}$  で半値全幅が  $2 \text{ pm}$  の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系  
25      に本発明を適用している。

図示の投影光学系では、特開平 8 - 334695 号公報に開示された

光学系から中間像形成位置の近傍に配置された反射鏡を取り除き、その代わりにマスク R の近傍に配置された平行平板 P 1 の直ぐ後側（ウエハ側）に反射鏡 M 1 を配置して光軸を折り曲げることにより光路の分離を確保している。第 1 実施例の投影光学系の場合、マスク R の近傍に配置された平行平板 P 1 およびその直後の反射鏡 M 1 を除き、反射屈折光学系 A および屈折光学系 B を構成するすべてのレンズ成分および凹面反射鏡 M 2 が同一の光軸上に配置されるため、光学系の組立てや調整が容易であるという利点を有する。

第 1 実施例の投影光学系は、マスク R に近接して配置された平行平板 P 1 と、この平行平板 P 1 を介したマスク R からの光を反射して反射屈折光学系 A へ導くための平面反射鏡 M 1 とを備えている。反射屈折光学系 A は、マスク R からの光の入射側から順に、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 1 と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 2 と、入射側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 3 と、入射側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 4 と、入射側に凹面を向けた凹面反射鏡 M 2 とから構成されている。したがって、マスク R からの光は、平行平板 P 1 を透過し、平面反射鏡 M 1 で反射された後に、反射屈折光学系 A へ入射する。反射屈折光学系 A へ入射した光は、4 つのレンズ成分 L 1 ～ L 4 を介して凹面反射鏡 M 2 に入射する。凹面反射鏡 M 2 で反射された光は、4 つのレンズ成分 L 4 ～ L 1 を介して、マスクパターン

の中間像を形成する。

マスクパターンの中間像からの光は、屈折光学系 B に導かれる。屈折光学系 B は、中間像からの光の入射側から順に、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 5 と、両凸レンズ L 6 と、両凹レンズ L 7 と、入射側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 8 と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 9 と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズ

L 1 0 と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 1 1 と、両凸レンズ L 1 2 と、入射側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 1 3 と、両凸レンズ L 1 4 とから構成されている。なお、正メニスカスレンズ L 1 0 と正メニスカスレンズ L 1 1 との間の光路中には、開口絞り S が配置  
5 されている。

したがって、マスクパターンの中間像から屈折光学系 B に入射した光は、各レンズ成分 L 5 ～ L 1 4 を介して、ウェハ W（第 3 図では参照符号 8 に対応）上の露光領域においてマスクパターンの縮小像を形成する。

なお、上述したように、凹面反射鏡 M 2 から両凸レンズ L 1 4 までの  
10 光路中において、凹面反射鏡 M 2 およびすべてのレンズ成分 L 1 ～ L 1 4 は共通の光軸 A X に沿って配置されている。

なお、第 1 実施例の投影光学系においては、平面鏡 M 1 は反射屈折光学系 A と屈折光学系 B との間の光路中であってこれら両光学系 A、B の光軸を含まない位置に光軸に対して  $45^\circ$  で斜設されている。従って、  
15 反射屈折光学系 A から屈折光学系 B へ向かう光束は、光軸を挟んで平面鏡 M 1 の反対側の空間を通過する。

次の表 1 に、第 1 実施例の投影光学系の諸元の値を掲げる。表 1 において、 $\lambda$  は露光光の中心波長を、FWHM は露光光の半値全幅を、 $\beta$  は投影倍率を、NA は像側開口数をそれぞれ表している。また、面番号は  
20 物体面であるマスク面から像面であるウェハ面への光線の進行する方向に沿ったマスク側からの面の順序を、 $r$  は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径）を、 $d$  は各面の軸上間隔すなわち面間隔を、 $n$  は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

なお、面間隔  $d$  は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔  $d$  の符号は、平面反射鏡 M 1 から凹面反射鏡 M 2 までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、面間  
25

隔  $d$  が正である光路中においては、光線の入射側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。逆に、面間隔  $d$  が負である光路中においては、光線の入射側に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。

5

(表 1)

(主要諸元)

 $\lambda = 157.6 \text{ nm}$ 

FWHM : 2 pm

10  $\beta = 1/4$ 

NA = 0.65

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
	(マスク面)	20.000000		
15	1 $\infty$	10.000000	1.5600000	(P 1)
	2 $\infty$	95.000000		
	3 $\infty$	-147.362588		(M 1)
	4 -429.08398	-30.000000	1.5600000	(L 1)
	5* -745.13029	-1.333333		
20	6 -322.16303	-40.000000	1.5600000	(L 2)
	7* -1467.70271	-167.804804		
	8 -1453.48942	-30.000000	1.5600000	(L 3)
	9* -499.97211	-270.398999		
	10* 169.56369	-24.634368	1.5600000	(L 4)
25	11 1553.82168	-29.845669		
	12 270.33617	29.845669		(M 2)

	13	1553.82168	24.634368	1.5600000	( L 4 )
	14*	169.56369	270.398999		
	15*	-499.97211	30.000000	1.5600000	( L 3 )
	16	-1453.48942	167.804804		
5	17*	-1467.70271	40.000000	1.5600000	( L 2 )
	18	-322.16303	1.333333		
	19*	-745.13029	30.000000	1.5600000	( L 1 )
	20	-429.08398	367.362588		
	21	251.44318	56.000000	1.5600000	( L 5 )
10	22*	331.45187	0.100000		
	23	242.35691	64.000000	1.5600000	( L 6 )
	24*	-435.60082	41.312455		
	25	-383.72254	35.200000	1.5600000	( L 7 )
	26*	234.88321	351.340242		
15	27*	-368.96810	35.200000	1.5600000	( L 8 )
	28	-213.21187	0.100000		
	29	222.15200	38.214400	1.5600000	( L 9 )
	30*	644.25611	105.254071		
	31	344.34732	34.000000	1.5600000	( L 1 0 )
20	32	670.73134	14.613691		
	33	$\infty$	22.968043		( S )
	34	194.20796	25.000000	1.5600000	( L 1 1 )
	35	1066.41016	39.793405		
	36	269.58088	47.757164	1.5600000	( L 1 2 )
25	37*	-250.46386	1.151770		
	38	-252.91748	20.000000	1.5600000	( L 1 3 )

39\* -5180.17894 0.684288  
 40\* 115.59157 52.925003 1.5600000 (L 1 4)  
 41 -306.38001 5.000940

(ウエハ面)

5 (非球面データ)

	r	$\kappa$	C 4
5 面	-745.13029	0.00000	$-0.366339 \times 10^{-8}$
1 9 面	C 6	C 8	C 10
	$0.457313 \times 10^{-13}$	$0.205872 \times 10^{-16}$	$0.184274 \times 10^{-21}$
10	r	$\kappa$	C 4
7 面	-1467.70271	0.00000	$0.846545 \times 10^{-9}$
1 7 面	C 6	C 8	C 10
	$-0.116191 \times 10^{-12}$	$-0.199473 \times 10^{-16}$	$-0.341653 \times 10^{-21}$
	r	$\kappa$	C 4
15 9 面	-499.97211	0.00000	$-0.976158 \times 10^{-8}$
1 5 面	C 6	C 8	C 10
	$-0.415843 \times 10^{-13}$	$0.162351 \times 10^{-16}$	$0.411877 \times 10^{-21}$
	r	$\kappa$	C 4
1 0 面	169.56369	0.00000	$-0.133118 \times 10^{-7}$
20 1 4 面	C 6	C 8	C 10
	$-0.346654 \times 10^{-12}$	$-0.781223 \times 10^{-17}$	$-0.342202 \times 10^{-21}$
	r	$\kappa$	C 4
2 2 面	331.45187	0.00000	$0.757965 \times 10^{-8}$
	C 6	C 8	C 10
25	$-0.101485 \times 10^{-12}$	$0.496639 \times 10^{-17}$	$0.112493 \times 10^{-22}$
	r	$\kappa$	C 4



	2 4 面	-435.60082	0.00000	$0.751565 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
		$0.347171 \times 10^{-12}$	$-0.222122 \times 10^{-16}$	$0.414382 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4
5	2 6 面	234.88321	0.00000	$0.330921 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
		$-0.496173 \times 10^{-12}$	$0.642966 \times 10^{-16}$	$-0.215905 \times 10^{-20}$
		r	$\kappa$	C 4
	2 7 面	-368.96810	0.00000	$-0.772938 \times 10^{-8}$
10		C 6	C 8	C 10
		$-0.292091 \times 10^{-12}$	$0.455626 \times 10^{-17}$	$-0.159769 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4
	3 0 面	644.25611	0.00000	$0.121893 \times 10^{-7}$
		C 6	C 8	C 10
15		$-0.203227 \times 10^{-12}$	$0.838252 \times 10^{-17}$	$-0.132351 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4
	3 7 面	-250.46386	0.00000	$0.100880 \times 10^{-6}$
		C 6	C 8	C 10
		$0.464133 \times 10^{-11}$	$-0.276297 \times 10^{-14}$	$0.186151 \times 10^{-18}$
20		r	$\kappa$	C 4
	3 9 面	-5180.17894	0.00000	$-0.212613 \times 10^{-7}$
		C 6	C 8	C 10
		$-0.222172 \times 10^{-10}$	$0.137730 \times 10^{-13}$	$-0.124632 \times 10^{-17}$
		r	$\kappa$	C 4
25	4 0 面	115.59157	0.00000	$-0.432337 \times 10^{-7}$
		C 6	C 8	C 10

$$-0.741893 \times 10^{-11} \quad 0.488072 \times 10^{-14} \quad 0.112316 \times 10^{-17}$$

第5図は、第1実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、第6図は、第1実施例における横収差（メリディオナルコマ収差）を示す図である。

各収差図において、NAは像側開口数を、Yは像高を、実線は中心波長157.6nmを、破線は157.6nm+1.3pmを、一点鎖線は157.6nm-1.3pmをそれぞれ示している。また、非点収差を示す収差図において、Sはサジタル像面を示し、Mはメリディオナル像面を示している。

各収差図から明らかなように、第1実施例では、中心波長が157.6nmで半値全幅が2pmの露光光に対して色収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

## 15      〔第2実施例〕

第7A図は、第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図であって、凹面反射鏡M2とウエハ面（像面）とを結ぶ光軸を含みマスク面（物体面）に垂直な平面に沿った断面図である。また、第7B図は、第7A図に対応する図であって、凹面反射鏡M2とウエハ面（像面）とを結ぶ光軸を含みマスク面に平行な平面に沿った断面図である。ただし、第7A図では、図面の明瞭化のために、反射鏡M1を省略し、反射鏡M1からマスクRまでの光路を紙面上で展開している。第2実施例では、中心波長が157.6nmで半値全幅が10pmの露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

25      なお、第2実施例の投影光学系は、第1実施例と類似の構成を有する。しかしながら、第1実施例では露光光の半値全幅が2pmであるのに対

し第2実施例では露光光の半値全幅が10  $\mu\text{m}$ である点、および第1実施例では反射屈折光学系Aが4つのレンズ成分を有するのに対し第2実施例では露光光の半値全幅の増大に対応して5つのレンズ成分を有する点が基本的に相違している。以下、第1実施例との相違点に着目して、  
5 第2実施例を説明する。

第2実施例の投影光学系は、マスクRに近接して配置された平行平板P1と、この平行平板P1を介したマスクRからの光を反射して反射屈折光学系Aへ導くための平面反射鏡M1とを備えている。反射屈折光学系Aは、マスクRからの光の入射側から順に、入射側に凸面を向けた負メニスカスレンズL1と、両凸レンズL2と、入射側に凸面を向けた負メニスカスレンズL3と、入射側に凹面を向けた負メニスカスレンズL4と、入射側に凹面を向けた負メニスカスレンズL5と、入射側に凹面を向けた凹面反射鏡M2とから構成されている。したがって、マスクRからの光は、平行平板P1を透過し、平面反射鏡M1で反射された後に、反射屈折光学系Aへ入射する。反射屈折光学系Aへ入射した光は、5つのレンズ成分L1～L5を介して凹面反射鏡M2に入射する。凹面反射鏡M2で反射された光は、5つのレンズ成分L5～L1を介して、マスクパターンの中間像を形成する。  
10

マスクパターンの中間像からの光は、屈折光学系Bに導かれる。屈折光学系Bは、中間像からの光の入射側から順に、両凸レンズL6と、両凸レンズL7と、両凹レンズL8と、両凹レンズL9と、入射側に凹面を向けた正メニスカスレンズL10と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズL12と、入射側に凸面を向けた負メニスカスレンズL13と、両凸レンズL14と、両凸レンズL15とから構成されている。なお、正メニスカスレンズL12と負メニスカスレンズL13との間の光路中において正メ  
20  
25

ニスカスレンズL 1 2の近傍には、開口絞りSが配置されている。

したがって、マスクパターンの中間像から屈折光学系Bに入射した光は、各レンズ成分L 6～L 1 5を介して、ウェハW上の露光領域においてマスクパターンの縮小像を形成する。

- 5      なお、上述したように、凹面反射鏡M 2から両凸レンズL 1 5までの光路中において、凹面反射鏡M 2およびすべてのレンズ成分L 1～L 1 5は共通の光軸AXに沿って配置されている。

次の表2に、第2実施例の投影光学系の諸元の値を掲げる。表2において、 $\lambda$ は露光光の中心波長を、FWHMは露光光の半値全幅を、 $\beta$ は  
10    投影倍率を、NAは像側開口数をそれぞれ表している。また、面番号は物体面であるマスク面から像面であるウェハ面への光線の進行する方向に沿ったマスク側からの面の順序を、rは各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径）を、dは各面の軸上間隔すなわち面間隔を、nは中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

- 15      なお、面間隔dは、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔dの符号は、平面反射鏡M 1から凹面反射鏡M 2までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、面間隔dが正である光路中においては、光線の入射側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。逆に、面間隔dが負で  
20    ある光路中においては、光線の入射側に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。

(表2)

(主要諸元)

25     $\lambda = 1\,57.6\text{ nm}$

FWHM : 10 pm

$$\beta = 1 / 4$$

$$NA = 0.65$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
5	(マスク面)	20.000000		
1	$\infty$	10.000000	1.5600000	(P 1)
2	$\infty$	95.000000		
3	$\infty$	-149.717330		(M 1)
4	-682.92265	-30.000000	1.5600000	(L 1)
10	5* -588.26859	-1.333333		
6	-430.94316	-40.000000	1.5600000	(L 2)
7*	1484.17685	-150.777176		
8	-267.06519	-30.000000	1.5600000	(L 3)
9*	-264.72399	-271.803380		
15	10* 280.88127	-40.000000	1.5600000	(L 4)
11	430.96701	-47.259520		
12*	173.49424	-24.634368	1.5600000	(L 5)
13	875.59639	-23.962719		
14	283.82726	23.962719		(M 2)
20	15 875.59639	24.634368	1.5600000	(L 5)
16*	173.49424	47.259520		
17	430.96701	40.000000	1.5600000	(L 4)
18*	280.88127	271.803380		
19*	-264.72399	30.000000	1.5600000	(L 3)
25	20 -267.06519	150.777176		
21*	1484.17685	40.000000	1.5600000	(L 2)

	22	-430.94316	1.333333		
	23*	-588.26859	30.000000	1.5600000	(L 1)
	24	-682.92265	369.717330		
	25	238.57662	60.000000	1.5600000	(L 6)
5	26*	-1018.49483	0.100000		
	27	537.43794	60.000000	1.5600000	(L 7)
	28*	-1553.84088	5.862119		
	29	-871.09012	33.333333	1.5600000	(L 8)
	30*	889.60239	20.205850		
10	31	-485.37887	35.200000	1.5600000	(L 9)
	32*	370.25580	345.890970		
	33*	-374.83682	35.200000	1.5600000	(L 10)
	34	-212.27674	0.100000		
	35	252.25212	34.214400	1.5600000	(L 11)
15	36*	1101.27714	41.001563		
	37	158.00018	43.110144	1.5600000	(L 12)
	38*	426.66235	11.751647		
	39	$\infty$	71.207438		(S)
	40	261.87894	49.757164	1.5600000	(L 13)
20	41*	129.89231	5.696443		
	42	111.81396	20.000000	1.5600000	(L 14)
	43*	-713.41458	0.684288		
	44*	139.86748	53.916336	1.5600000	(L 15)
	45	-390.69540	5.000000		
25		(ウエハ面)			

## (非球面データ)

		r	$\kappa$	C 4
	5 面	-588.26859	0.00000	$-0.231151 \times 10^{-8}$
	2 3 面	C 6	C 8	C 10
5		$-0.107657 \times 10^{-12}$	$0.679561 \times 10^{-17}$	$0.200076 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4
	7 面	1484.17685	0.00000	$0.208708 \times 10^{-8}$
	2 1 面	C 6	C 8	C 10
		$0.101520 \times 10^{-12}$	$-0.936224 \times 10^{-17}$	$-0.109080 \times 10^{-21}$
10		r	$\kappa$	C 4
	9 面	-264.72399	0.00000	$-0.596956 \times 10^{-8}$
	1 9 面	C 6	C 8	C 10
		$-0.804409 \times 10^{-13}$	$0.594035 \times 10^{-17}$	$-0.511225 \times 10^{-22}$
		r	$\kappa$	C 4
15	1 0 面	280.88127	0.00000	$-0.270202 \times 10^{-8}$
	1 8 面	C 6	C 8	C 10
		$-0.165650 \times 10^{-12}$	$-0.319705 \times 10^{-17}$	$-0.722147 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4
	1 2 面	173.49424	0.00000	$-0.896367 \times 10^{-8}$
20	1 6 面	C 6	C 8	C 10
		$-0.112007 \times 10^{-12}$	$-0.376263 \times 10^{-18}$	$0.205531 \times 10^{-22}$
		r	$\kappa$	C 4
	2 6 面	-1018.49483	0.00000	$-0.161303 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
25		$-0.132885 \times 10^{-13}$	$0.112230 \times 10^{-16}$	$-0.279049 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4

	2 8 面	-1553.84088	0.00000	$0.178392 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
		$0.484443 \times 10^{-13}$	$-0.385332 \times 10^{-16}$	$0.135532 \times 10^{-20}$
5	3 0 面	r	$\kappa$	C 4
		889.60239	0.00000	$0.252762 \times 10^{-7}$
		C 6	C 8	C 10
10	3 2 面	$0.592624 \times 10^{-12}$	$0.146825 \times 10^{-16}$	$-0.127357 \times 10^{-20}$
		r	$\kappa$	C 4
		370.255800	0.00000	$-0.427239 \times 10^{-8}$
15	3 3 面	C 6	C 8	C 10
		$-0.252357 \times 10^{-12}$	$0.611208 \times 10^{-16}$	$0.198023 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4
20	3 6 面	-374.83682	0.00000	$-0.713446 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
		$-0.358473 \times 10^{-12}$	$0.976519 \times 10^{-17}$	$-0.144877 \times 10^{-21}$
25	3 8 面	r	$\kappa$	C 4
		1101.27714	0.00000	$0.813610 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
	4 1 面	$-0.519537 \times 10^{-12}$	$0.103493 \times 10^{-16}$	$0.452136 \times 10^{-22}$
		r	$\kappa$	C 4
		426.66235	0.00000	$0.202344 \times 10^{-7}$
		C 6	C 8	C 10
		$0.486990 \times 10^{-12}$	$-0.709243 \times 10^{-17}$	$0.198192 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4
		129.89231	0.00000	$0.379939 \times 10^{-7}$
		C 6	C 8	C 10



	$0.248170 \times 10^{-10}$	$0.278364 \times 10^{-14}$	$0.221665 \times 10^{-18}$
	r	$\kappa$	C 4
4 3 面	-713.41458	0.00000	$-0.142505 \times 10^{-7}$
	C 6	C 8	C 10
5	$-0.128262 \times 10^{-11}$	$0.598993 \times 10^{-15}$	$0.779998 \times 10^{-19}$
	r	$\kappa$	C 4
4 4 面	139.86748	0.00000	$-0.921480 \times 10^{-7}$
	C 6	C 8	C 10
	$0.175784 \times 10^{-10}$	$0.573035 \times 10^{-14}$	$0.703403 \times 10^{-18}$

10

第 8 図は、第 2 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、第 9 図は、第 2 実施例における横収差（メリディオナルコマ収差）を示す図である。

各収差図において、NA は像側開口数を、Y は像高を、実線は中心波長 157.6 nm を、破線は  $157.6 \text{ nm} + 8.6 \text{ pm}$  を、一点鎖線は  $157.6 \text{ nm} - 8.6 \text{ pm}$  をそれぞれ示している。また、非点収差を示す収差図において、S はサジタル像面を示し、M はメリディオナル像面を示している。

各収差図から明らかなように、第 2 実施例では、中心波長が 157.6 nm で半値全幅が 10 pm の露光光に対して色収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

また、上記第 1 および第 2 実施例では、重力方向に対して非平行な光軸を有するレンズ成分および凹面鏡が存在しない。従って、レンズ成分および凹面鏡においては、重力による非対称な変形を招かず、投影光学系の大開口数化や大露光領域化を図っても結像性能の劣化を十分に抑えることができる。

〔第 3 実施例および第 4 実施例〕

第 10 図は、本発明の第 3 実施例および第 4 実施例にかかる投影露光装置の全体構成を概略的に示す図である。なお、第 10 図において、ウエハ面の法線方向に Z 軸を、ウエハ面内において第 10 図の紙面に平行に X 軸を、紙面に垂直に Y 軸を設定している。また、第 10 図において、重力方向は Z 軸と同じ方向である。

第 3 実施例および第 4 実施例は、第 1 実施例および第 2 実施例と類似の構成を有するが、投影光学系の構成が第 1 実施例および第 2 実施例と基本的には相違している。以下、第 1 実施例および第 2 実施例との相違点に着目し、第 3 実施例および第 4 実施例を説明する。

図示の投影露光装置において、F<sub>2</sub> レーザ（発振中心波長 157.6 nm）1 から X 方向に射出された光は、折り曲げミラー 2 で Z 方向に偏向された後、照明光学系 3 を介してマスク 4 を均一に照明する。

15    なお、第 10 図では、光源 1 から照明光学系 3 までの光路に 1 枚の折り曲げミラー 2 しか図示していないが、実際には、第 3 図の例と同様に、自動追尾ユニットや、整形光学系および光量調整部などの光学系が配置される。また、第 10 図に示した照明光学系 3 は、第 3 図の例と同様に  
20    オプティカルインテグレータや、視野絞りおよび視野絞り結像光学系などの光学系を有している。第 10 図の例においても第 3 図の例と同様に、光源 1 と照明光学系 3 との間はケーシング C 1 で密封されており、光源 1 から照明光学系 3 中の最もマスク R 側の光学部材までの空間はヘリウムガスなどの不活性ガスで置換されている。なお、光路の折り曲げ方は第 10 図に示される態様には限られず、装置の設計に合わせて適宜変更  
25    可能であることは言うまでもない。

マスク 4 は、マスクホルダ 5 を介して、マスクステージ 6 上において

X Y 平面に平行に保持されている。マスク 4 には転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうち Y 方向に沿って長辺を有し且つ X 方向に沿って短辺を有する矩形形状のパターン領域が照明される。

マスクステージ 6 は、図示を省略した駆動系の作用によりマスク面（すなわち X Y 平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はマスク移動鏡 1 1 を用いた干渉計 1 2 によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

マスク 4 に形成されたパターンからの光は、投影光学系 7 を介して、感光性基板であるウエハ 8 上にマスクパターン像を形成する。ウエハ 8 は、ウエハホルダ 9 を介して、ウエハステージ 1 0 上において X Y 平面に平行に保持されている。そして、マスク 4 上での矩形形状の照明パターン領域に光学的に対応するように、ウエハ 8 上においても Y 方向に沿って長辺を有し且つ X 方向に沿って短辺を有する矩形形状の露光領域にパターン像が形成される。

ウエハステージ 1 0 は、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ面（すなわち X Y 平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウエハ移動鏡 1 3 を用いた干渉計 1 4 によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

また、図示の投影露光装置では、投影光学系 7 を構成する光学部材のうち最もマスク側に配置された平行平板 P 1 と最もウエハ側に配置されたレンズ L<sub>r</sub> との間で投影光学系 7 の内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系 7 の内部の気体は露光光の吸収率が低い気体としてヘリウムガスで置換されている。同様に、光源 1 から照明光学系 3 までの光路もヘリウムガスで置換されている。

そして、照明光学系 3 と平行平板 P 1 との間の狭い光路には、マスク 4 及びマスクステージ 6 が配置されるが、これらマスク 4 及びマスク

ステージ6を密封包囲するケーシングC2の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスを充填することにより、上記照明光学系3と平行平板P1との間の光路が不活性ガスで置換される。また、レンズLrとウェハ8との間の狭い光路には、ウェハ8及びウェハステージ10などが配置されるが、これらウェハ8及びウェハステージ10を密封包囲するケーシングC3の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスを充填することにより、上記レンズLrとウェハ8との間の狭い光路が不活性ガスで置換される。ただし、これらの光路においては、機械的に可動する部材（マスクステージ6、ウェハステージ10など）が配置されているため、これらの部材が移動することによる気体のクリーン度の低下は避けがたい。

なお、マスクを交換するためのロボットアームやウェハを交換するためのロボットアームは、上記光路のクリーン度を向上させるために、これらのケーシングC2、C3とは別体のケーシング内に収められることが好ましいが、それでも投影光学系7の内部気体のクリーン度よりは低くなりがちである。

このように、光源1からウェハ8までの光路において露光光がクリーン度の低い気体を通過する個所は、照明光学系3とマスク4との間の狭い光路中、マスク4と平行平板P1との間の狭い光路中およびレンズLrとウェハ8との間の狭い光路中である。

上述したように、投影光学系7によって規定されるマスク4上の視野領域（照明領域）およびウェハ8上の投影領域（露光領域）は、X方向に沿って短辺を有する矩形状である。したがって、駆動系および干渉計（12、14）などを用いてマスク4およびウェハ8の位置制御を行いながら、矩形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちX方向に沿ってマスクステージ6とウェハステージ10とを、ひいてはマスク4

とウエハ 8 とを同期的に走査させることにより、ウエハ 8 上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウエハ 8 の走査量に応じた長さを有する領域に対してマスクパターンが走査露光される。このように、第 3 実施例および第 4 実施例では、マスク面とウエハ面とが平行であり、その走査方向が水平方向になるように設定されている。

### 〔第 3 実施例〕

第 11 図は、第 3 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図であって、反射屈折光学系 A の光軸 AX 1 と屈折光学系 B の光軸 AX 2 とを含む平面に沿った断面図である。第 3 実施例では、中心波長が 157.6 nm で半値全幅が 2  $\mu$ m の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

図示の投影光学系は、特開平 8-334695 号公報に開示された光学系と同じタイプである。すなわち、第 3 実施例の投影光学系では、中間像形成位置の近傍において光束が細くなった位置に反射屈折光学系 A の光軸 AX 1 に対して反射面が 45 度の角度をなす平面反射鏡 M 2 を配置している。また、反射屈折光学系 A の光軸 AX 1 と平行な光軸 AX 2 を有する屈折光学系 B と反射屈折光学系 A とを光学的に接続するために、屈折光学系 B の光軸 AX 2 に対して 45 度の角度をなし且つ平面反射鏡 M 2 の反射面と直交する反射面を有する平面反射鏡 M 3 を配置している。

したがって、第 3 実施例の投影光学系の場合、マスク R (第 10 図では参照符号 4 に対応) の近傍に配置された平行平板 P 1 と反射屈折光学系 A を構成するすべてのレンズ成分および凹面反射鏡 M 1 とが光軸 AX 1 上に配置され、屈折光学系 B を構成するすべてのレンズ成分が光軸 AX 1 と平行な光軸 AX 2 上に配置される。そして、第 10 図に示すようにマスク 4 およびウエハ 8 を水平に支持する場合、投影光学系 7 を構

成するすべてのレンズ成分も水平に支持されることになり、レンズ成分が重力の悪影響を受けにくいという利点がある。また、2つの平行な光軸AX1およびAX2に沿って反射屈折光学系Aおよび屈折光学系Bが配置されるので、鏡筒の長さがあまり長くないという利点がある。

- 5 第3実施例の投影光学系は、マスクRに近接して配置された平行平板P1を備えており、この平行平板P1を透過したマスクRからの光が反射屈折光学系Aへ入射する。反射屈折光学系Aは、マスクRからの光の入射側から順に、両凹レンズL1と、両凸レンズL2と、入射側に凹面を向けた負メニスカスレンズL3と、入射側に凹面を向けた凹面反射鏡M1とから構成されている。したがって、マスクRからの光は、平
- 10 行平板P1を透過した後に、反射屈折光学系Aへ入射する。反射屈折光学系Aへ入射した光は、3つのレンズ成分L1～L3を介して凹面反射鏡M1に入射する。凹面反射鏡M1で反射された光は、2つのレンズ成分L3およびL2を介して、平面反射鏡M2の近傍にマスクパターン
- 15 の中間像を形成する。

- マスクパターンの中間像からの光は、平面反射鏡M2および平面反射鏡M3を介して、屈折光学系Bに入射する。屈折光学系Bは、中間像からの光の入射側から順に、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズL4と、両凸レンズL5と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズL
- 20 6と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズL7と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズL8と、両凸レンズL9とから構成されている。なお、正メニスカスレンズL6と正メニスカスレンズL7との間の光路中には、開口絞りSが配置されている。

- したがって、マスクパターンの中間像から屈折光学系Bに入射した光
- 25 は、各レンズ成分L4～L9を介して、ウエハW（第10図では参照符号8に対応）上の露光領域においてマスクパターンの縮小像を形成する。

次の表 3 に、第 3 実施例の投影光学系の諸元の値を掲げる。表 3 において、 $\lambda$  は露光光の中心波長を、FWHM は露光光の半値全幅を、 $\beta$  は投影倍率を、NA は像側開口数をそれぞれ表している。また、面番号は物体面であるマスク面から像面であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったマスク側からの面の順序を、 $r$  は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径）を、 $d$  は各面の軸上間隔すなわち面間隔を、 $n$  は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

なお、面間隔  $d$  は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔  $d$  の符号は、凹面反射鏡 M 1 から平面反射鏡 M 2 までの光路中では負とし、平面反射鏡 M 3 からウエハ面までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、面間隔  $d$  が正である光路中においては、光線の入射側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。逆に、面間隔  $d$  が負である光路中においては、光線の入射側に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。

(表 3)

(主要諸元)

$\lambda = 157.6 \text{ nm}$

FWHM : 2  $\mu\text{m}$

$\beta = 1/4$

NA = 0.65

(光学部材諸元)

面番号	$r$	$d$	$n$
(マスク面)		20.000000	
1	$\infty$	10.000000	1.5600000 (P 1)

	2	$\infty$	21.056466		
	3*	-410.25845	19.200000	1.5600000	(L 1)
	4	7622.04648	97.814420		
	5	442.05840	38.000000	1.5600000	(L 2)
5	6*	-460.79557	637.333293		
	7*	-181.36058	24.000000	1.5600000	(L 3)
	8	-2202.35929	34.559790		
	9	-295.90336	-34.559790		(M 1)
	10	-2202.35929	-24.000000	1.5600000	(L 3)
10	11*	-181.36058	-637.333293		
	12*	-460.79557	-38.000000	1.5600000	(L 2)
	13	442.05840	-8.600000		
	14	$\infty$	410.000000		(M 2)
	15	$\infty$	-107.846514		(M 3)
15	16*	-271.59461	-40.000000	1.5600000	(L 4)
	17	-294.15246	-221.080055		
	18	-736.15276	-50.000000	1.5600000	(L 5)
	19*	534.11318	-63.960648		
	20	-178.13615	-46.000000	1.5600000	(L 6)
20	21*	-558.07630	-31.709633		
	22	$\infty$	-107.125647		(S)
	23	-124.45291	-40.000000	1.5600000	(L 7)
	24*	-701.01490	-2.857325		
	25	-187.95248	-35.000000	1.5600000	(L 8)
25	26	-535.34602	-0.651637		
	27	-195.99609	-46.806762	1.5600000	(L 9)



28\* 7665.52661 -6.232089

(ウエハ面)

(非球面データ)

		r	$\kappa$	C 4
5	3 面	-410.25845	0.00000	$-0.464328 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
		$0.289652 \times 10^{-12}$	$0.876203 \times 10^{-17}$	$-0.101393 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4
	6 面	-460.79557	0.00000	$0.655550 \times 10^{-8}$
10	1 2 面	C 6	C 8	C 10
		$0.750690 \times 10^{-13}$	$-0.375816 \times 10^{-18}$	$-0.275978 \times 10^{-23}$
		r	$\kappa$	C 4
	7 面	-181.36058	0.00000	$0.947631 \times 10^{-8}$
	1 1 面	C 6	C 8	C 10
15		$0.247890 \times 10^{-12}$	$0.374299 \times 10^{-17}$	$0.263940 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4
	1 6 面	-271.59461	0.00000	$0.427427 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
		$0.411417 \times 10^{-13}$	$0.204209 \times 10^{-18}$	$-0.710805 \times 10^{-23}$
		r	$\kappa$	C 4
20	1 9 面	534.11318	0.00000	$0.564196 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
		$-0.362399 \times 10^{-15}$	$-0.263491 \times 10^{-17}$	$0.420225 \times 10^{-22}$
		r	$\kappa$	C 4
25	2 1 面	-558.07630	0.00000	$-0.314496 \times 10^{-7}$
		C 6	C 8	C 10

	$0.185759 \times 10^{-13}$	$-0.161021 \times 10^{-17}$	$-0.415783 \times 10^{-21}$
	r	$\kappa$	C4
2 4 面	-701.01490	0.00000	$-0.337626 \times 10^{-7}$
	C6	C8	C10
5	$0.160965 \times 10^{-12}$	$-0.735123 \times 10^{-17}$	$0.441992 \times 10^{-21}$
	r	$\kappa$	C4
2 8 面	7665.52661	0.00000	$-0.152895 \times 10^{-6}$
	C6	C8	C10
	$-0.665509 \times 10^{-10}$	$0.938735 \times 10^{-13}$	$-0.520573 \times 10^{-16}$

10

第 1 2 図は、第 3 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、第 1 3 図は、第 3 実施例における横収差（メリディオナルコマ収差）を示す図である。

各収差図において、NA は像側開口数を、Y は像高を、実線は中心波  
 15 長 1 5 7 . 6 nm を、破線は 1 5 7 . 6 nm + 1 . 3 pm を、一点鎖線は 1 5 7 . 6 nm - 1 . 3 pm をそれぞれ示している。また、非点収差を示す収差図において、S はサジタル像面を示し、M はメリディオナル像面を示している。

各収差図から明らかなように、第 3 実施例では、中心波長が 1 5 7 .  
 20 6 nm で半値全幅が 2 pm の露光光に対して色収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

#### 〔第 4 実施例〕

第 1 4 図は、第 4 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図で  
 25 あって、反射屈折光学系 A の光軸 AX 1 と屈折光学系 B の光軸 AX 2 とを含む平面に沿った断面図である。第 4 実施例では、中心波長が 1 5 7 .

6 nmで半値全幅が10 pmの露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

第4実施例の投影光学系は、第3実施例と類似の構成を有する。しかしながら、第3実施例では露光光の半値全幅が2 pmであるのに対し第4実施例では露光光の半値全幅が10 pmである点、および第3実施例では屈折光学系Bが6つのレンズ成分を有するのに対し第4実施例では露光光の半値全幅の増大に対応して7つのレンズ成分を有する点が基本的に相違している。以下、第3実施例との相違点に着目して、第4実施例を説明する。

10 第4実施例の投影光学系は、マスクRに近接して配置された平行平板P1を備えており、この平行平板P1を透過したマスクRからの光が反射屈折光学系Aへ入射する。反射屈折光学系Aは、マスクRからの光の入射側から順に、両凹レンズL1と、両凸レンズL2と、入射側に凹面を向けた負メニスカスレンズL3と、入射側に凹面を向けた凹面反射鏡M1とから構成されている。したがって、マスクRからの光は、平行平板P1を透過した後に、反射屈折光学系Aへ入射する。反射屈折光学系Aへ入射した光は、3つのレンズ成分L1～L3を介して凹面反射鏡M1に入射する。凹面反射鏡M1で反射された光は、2つのレンズ成分L3およびL2を介して、平面反射鏡M2の近傍にマスクパターン  
15 の中間像を形成する。

マスクパターンの中間像からの光は、平面反射鏡M2および平面反射鏡M3を介して、屈折光学系Bに入射する。屈折光学系Bは、中間像からの光の入射側から順に、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズL4と、両凸レンズL5と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズL6と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズL7と、入射側に凸面を向けた正メニスカスレンズL8と、入射側に凸面を向けた正メニスカ  
25

スレンズL 9と、両凸レンズL 1 0とから構成されている。なお、正メ  
ニスカスレンズL 6と正メニスカスレンズL 7との間の光路中には、開  
口絞りSが配置されている。

したがって、マスクパターンの中間像から屈折光学系Bに入射した光  
5 は、各レンズ成分L 4～L 1 0を介して、ウェハW上の露光領域におい  
てマスクパターンの縮小像を形成する。

次の表4に、第4実施例の投影光学系の諸元の値を掲げる。表4にお  
いて、 $\lambda$ は露光光の中心波長を、FWHMは露光光の半値全幅を、 $\beta$ は  
投影倍率を、NAは像側開口数をそれぞれ表している。また、面番号は  
10 物体面であるマスク面から像面であるウェハ面への光線の進行する方向  
に沿ったマスク側からの面の順序を、 $r$ は各面の曲率半径（非球面の場合  
には頂点曲率半径）を、 $d$ は各面の軸上間隔すなわち面間隔を、 $n$ は  
中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

なお、面間隔 $d$ は、反射される度にその符号を変えるものとする。し  
15 たがって、面間隔 $d$ の符号は、凹面反射鏡M 1から平面反射鏡M 2まで  
の光路中では負とし、平面反射鏡M 3からウェハ面までの光路中では負  
とし、その他の光路中では正としている。そして、面間隔 $d$ が正である  
光路中においては、光線の入射側に向かって凸面の曲率半径を正とし、  
凹面の曲率半径を負としている。逆に、面間隔 $d$ が負である光路中にお  
20 いては、光線の入射側に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率  
半径を負としている。

(表4)

(主要諸元)

25  $\lambda = 157.6 \text{ nm}$   
FWHM :  $10 \text{ pm}$

$$\beta = 1 / 4$$

$$NA = 0.65$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
5	(マスク面)	20.000000		
1	$\infty$	10.000000	1.5600000	(P 1)
2	$\infty$	18.000000		
3*	-372.48390	19.200000	1.5600000	(L 1)
4	2824.40505	107.691386		
10	5	441.56209	38.000000	1.5600000 (L 2)
6*	-467.54839	632.035292		
7*	-181.16467	24.000000	1.5600000	(L 3)
8	-2171.42735	34.435069		
9	-295.94748	-34.435069		(M 1)
15	10	-2171.42736	-24.000000	1.5600000 (L 3)
11*	-181.16467	-632.035292		
12*	-467.54839	-38.000000	1.5600000	(L 2)
13	441.56209	-8.600000		
14	$\infty$	410.000000		(M 2)
20	15	$\infty$	-96.164001	(M 3)
16*	-248.89382	-40.000000	1.5600000	(L 4)
17	-270.80367	-211.283468		
18	-1633.27164	-50.000000	1.5600000	(L 5)
19*	439.76407	-84.131385		
25	20	-187.72487	-42.000000	1.5600000 (L 6)
21*	-508.63497	-38.738249		

	22	$\infty$	-19.402019		(S)
	23	-312.42160	-30.000000	1.5600000	(L 7)
	24	-545.38881	-68.496963		
	25	-133.13377	-40.000000	1.5600000	(L 8)
5	26*	-678.53406	-2.925194		
	27	-186.00220	-35.000000	1.5600000	(L 9)
	28	-305.28790	-0.100000		
	29	-145.48941	-46.223734	1.5600000	(L 10)
	30*	4767.12784	-6.000000		
10	(ウエハ面)				

(非球面データ)

		$r$	$\kappa$	C 4
	3 面	-372.48390	0.00000	$-0.540343 \times 10^{-8}$
15		C 6	C 8	C 10
		$0.256808 \times 10^{-12}$	$0.290465 \times 10^{-17}$	$-0.427034 \times 10^{-22}$
		$r$	$\kappa$	C 4
	6 面	-467.54839	0.00000	$0.622527 \times 10^{-8}$
	1 2 面	C 6	C 8	C 10
20		$0.649449 \times 10^{-13}$	$-0.506658 \times 10^{-18}$	$0.357490 \times 10^{-24}$
		$r$	$\kappa$	C 4
	7 面	-181.16467	0.00000	$0.943076 \times 10^{-8}$
	1 1 面	C 6	C 8	C 10
		$0.256514 \times 10^{-12}$	$0.303718 \times 10^{-17}$	$0.242059 \times 10^{-21}$
25		$r$	$\kappa$	C 4
	1 6 面	-248.89382	0.00000	$0.609993 \times 10^{-8}$

		C 6	C 8	C 10
		$0.765145 \times 10^{-13}$	$0.840211 \times 10^{-18}$	$0.133482 \times 10^{-22}$
		r	$\kappa$	C 4
5	1 9 面	439.76407	0.00000	$0.481334 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
		$0.266384 \times 10^{-13}$	$-0.149214 \times 10^{-17}$	$0.265666 \times 10^{-22}$
		r	$\kappa$	C 4
	2 1 面	-508.63497	0.00000	$-0.270625 \times 10^{-7}$
10		C 6	C 8	C 10
		$-0.130088 \times 10^{-12}$	$0.121888 \times 10^{-18}$	$-0.449102 \times 10^{-21}$
		r	$\kappa$	C 4
	2 6 面	-678.53406	0.00000	$-0.463518 \times 10^{-8}$
		C 6	C 8	C 10
		$-0.381221 \times 10^{-12}$	$0.150702 \times 10^{-16}$	$-0.489031 \times 10^{-21}$
15		r	$\kappa$	C 4
	3 0 面	4767.12784	0.00000	$-0.195812 \times 10^{-6}$
		C 6	C 8	C 10
		$0.241786 \times 10^{-10}$	$-0.201056 \times 10^{-13}$	$0.142658 \times 10^{-16}$

20 第 1 5 図は、第 4 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、第 1 6 図は、第 4 実施例における横収差（メリディオナルコマ収差）を示す図である。

各収差図において、N A は像側開口数を、Y は像高を、実線は中心波長 1 5 7 . 6 n m を、破線は 1 5 7 . 6 n m + 8 . 6 p m を、一点鎖線は 1 5 7 . 6 n m - 8 . 6 p m をそれぞれ示している。また、非点収差を示す収差図において、S はサジタル像面を示し、M はメリディオナル

25

像面を示している。

各収差図から明らかなように、第4実施例では、中心波長が157.6 nmで半値全幅が10 pmの露光光に対して色収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

5

以上のように、上述の第1～第4実施例にかかる投影露光装置では、180 nm以下の中心波長を有し且つ20 pm以下の半値全幅を有する露光光に対して色収差が良好に補正された反射屈折タイプの投影光学系を備えているので、露光光源として比較的簡単な狭帯域化を施したF<sub>2</sub>レーザを使用することができる。この構成により、大きな露光パワーを得ることができ、レーザ光源のメンテナンスコストも安くなるので、レーザ光源に掛かるコストが低く且つ高い生産性を有する投影露光装置を実現することができる。

また、前述したように、F<sub>2</sub>レーザの場合、半値全幅が2 pm程度までの狭帯域化は可能と考えられる。上述の第1実施例および第3実施例に示すように半値全幅が2 pm程度のF<sub>2</sub>レーザを用いる場合、半値全幅が10 pm程度のF<sub>2</sub>レーザを用いる第2実施例および第4実施例の場合よりも、投影光学系を構成するレンズ成分の枚数を減らすことができる。硝材として使用される蛍石（すなわちCaF<sub>2</sub>結晶）は高価であり、また180 nm以下の短波長ではレンズ表面での光量損失が無視できない程度に大きいため、投影光学系の透過効率に関してレンズ枚数を減らすことの効果は大きい。

なお、上述の第1実施例および第2実施例の投影光学系では、マスク近傍に配置された平行平板および光路分離用の平面反射鏡を除き、投影光学系を構成するすべてのレンズ成分および凹面反射鏡が共通の光軸に沿って配置されている。その結果、すべてのレンズ成分および凹面反

25



射鏡を一本の鏡筒の内部に組み込むことができるので、反射屈折光学系としては組立ておよび調整を容易に行うことができる。

また、上述の第3実施例および第4実施例の投影光学系では、光路分離用の平面反射鏡を除き、投影光学系を構成するすべてのレンズ成分および凹面反射鏡が互いに平行な2つの光軸に沿って配置されている。その結果、一部のレンズ成分および凹面反射鏡を第1の鏡筒の内部に組み込むとともに、残部のレンズ成分を第1の鏡筒と平行に配置された第2の鏡筒の内部に組み込むことができる。このように、2つの鏡筒の各々において組立および調整が独立的に可能であり、2つの鏡筒の間の相互位置関係も簡素化されているので、光学系の組立ておよび調整を比較的容易に行うことができる。

さらに、上述の各実施例では、露光領域が矩形状（スリット形状）であるため、露光領域が輪帯状である装置よりも照明光学系の設計および製造において好都合であり、照明光学系の構成を簡素化することができる。

また、上述の各実施例では、マスクに近接して平行平板のような光透過性光学部材を配置することにより、マスクと平行平板との間の狭い光路およびウエハとこれに近接する光学部材との間の狭い光路を除き、マスクからウエハまでの光路のほぼ全部をクリーン度の高いヘリウムガスなどの不活性ガスで満たすことができる。その結果、露光光としてF<sub>2</sub>レーザ光のような短波長光を用いても、光の吸収を有効に回避することができ、投影光学系の透過効率を向上させることができる。平行平板の使用により、投影光学系の耐久性および保守性を向上させ、投影光学系の組立後に残存収差の補正を行うこともできる。

〔第5実施例および第6実施例〕

第5実施例および第6実施例は、第3実施例および第4実施例と類似の構成を有する。

第17図及び第20図は、第10図の投影露光装置の投影光学系としての反射屈折光学系の第5及び第6実施例を示す。両実施例の反射屈折光学系は、第1面であるマスク（レチクル）4上の回路パターンを、第2面であるウエハ8上に縮小転写する投影光学系に本発明を適用したものである。この投影光学系は、マスク4上のパターンの中間像を形成する第1結像光学系Aと、中間像の再結像をウエハ8上に形成する第2結像光学系Bとからなる。第1結像光学系Aは凹面鏡 $M_C$ を有し、第2結像光学系Bは開口絞りASを有する。中間像の近傍には、第1結像光学系Aからの光束を第2結像光学系Bへ導くように、光軸を $90^\circ$ 折り曲げる第1の反射面 $M_1$ が設けられている。また、第1の反射面 $M_1$ と開口絞りASとの間には、レチクルR上での光軸とウエハ8上での光軸が平行となるように、光軸を更に $90^\circ$ 折り曲げる第2の反射面 $M_2$ が設けられている。但し、第2の反射面 $M_2$ は設けなくとも良い。

第5実施例と第6実施例の主要諸元は、次の通りである。

使用波長：157nm（F<sub>2</sub>レーザー）

倍率：1／4

像側開口数：0.6

最大像高：13.2mm

この投影光学系は、凹面鏡 $M_C$ に至る光束と凹面鏡 $M_C$ からの光束とを第1の反射面 $M_1$ によって分離しており、したがってマスク4上及びウエハ8上で光軸を含む領域は使用領域とはならない。すなわち、前述の第1～第4実施例と同様に、光軸を含まないスリット状の領域がマスク4の照明領域となり、且つウエハ8の露光領域となっている。そしてスリット状の使用領域をスリットの短手方向に走査することにより、走査方

向に長い範囲のマスクパターンの像をウエハ8上に転写するものである。

したがって、ウエハ8上の露光領域を例えば4.6×20mmの長方形とするときには、像高をYとして、 $Y=4.0\sim13.2$ mmの範囲が使用され、露光領域を5×20mmとするときには、 $Y=3.6\sim13.2$ mmの範囲が使用され、露光領域を5.6×20mmとするときには、 $Y=3.0\sim13.2$ mmの範囲が使用されることとなる。

但し、スリットの形状は、必ずしも長方形である必要はなく、例えば台形状、六角形状、円弧形状など、任意の直線又は曲線（例えば円弧）を、走査方向に移動したときに塗りつぶされる領域の形状とすることができる。

第17図に示す第5実施例の第1結像光学系Aは、マスク4側に凹面を向けたメニスカス負レンズA<sub>1</sub>と、マスク4側に凹面を向けたメニスカス正レンズA<sub>2</sub>と、凹面鏡MC側に凹面を向けたメニスカス負レンズA<sub>3</sub>と、両凸レンズA<sub>4</sub>と、両凹レンズA<sub>5</sub>と、凹面鏡M<sub>C</sub>からなる。第1の反射面M<sub>1</sub>は、レンズA<sub>1</sub>とA<sub>2</sub>との間に配置されている。

第2結像光学系Bは、第1の反射面M<sub>1</sub>側に凹面を向けたメニスカス正レンズB<sub>1</sub>と、両凸レンズB<sub>2</sub>と、ウエハ8側に凹面を向けたメニスカス正レンズB<sub>3</sub>と、両凸レンズB<sub>4</sub>とからなる。第2の反射面M<sub>2</sub>は、レンズB<sub>1</sub>とB<sub>2</sub>との間に配置されており、開口絞りASは、レンズB<sub>2</sub>とB<sub>3</sub>との間に配置されている。

このうち、レンズA<sub>1</sub>のマスク側レンズ面r1と、レンズA<sub>3</sub>の凹面鏡側レンズ面r6と、レンズA<sub>4</sub>の凹面鏡側レンズ面r8と、レンズA<sub>5</sub>の凹面鏡側レンズ面r10と、レンズB<sub>1</sub>の第1面r21と、レンズB<sub>2</sub>の第1面r24と、レンズB<sub>3</sub>の第2面r28と、レンズB<sub>4</sub>の第1面r29が、非球面に形成されている。第20図において、\*印が非球面を表す。すなわち都合8面の非球面を採用することにより、使用レンズ枚数がわず

か9枚となり、球面レンズのみを使用した投影光学系の使用レンズ枚数の約1/3にまで低減している。

第20図に示す第6実施例の第1結像光学系Aは、マスク4側に凹面を向けたメニスカス負レンズA<sub>1</sub>と、両凸レンズA<sub>2</sub>と、凹面鏡M<sub>C</sub>側に凹面を向けたメニスカス正レンズA<sub>3</sub>と、マスク4側に凹面を向けたメニスカス正レンズA<sub>4</sub>と、両凹レンズA<sub>5</sub>と、両凸レンズA<sub>6</sub>と、両凹レンズA<sub>7</sub>と、凹面鏡M<sub>C</sub>からなる。第1の反射面M<sub>1</sub>は、レンズA<sub>1</sub>とA<sub>2</sub>との間に配置されており、第1の反射面M<sub>1</sub>に引き続いて第2の反射面M<sub>2</sub>が配置されている。

10 第2結像光学系Bは、ウエハ8側に凹面を向けたメニスカス正レンズB<sub>1</sub>と、両凸レンズB<sub>2</sub>と、ウエハ8側に凹面を向けた2枚のメニスカス正レンズB<sub>3</sub>、B<sub>4</sub>と、ウエハ8側に凹面を向けたメニスカス負レンズB<sub>5</sub>と、両凸レンズB<sub>6</sub>とからなる。開口絞りASは、レンズB<sub>2</sub>とB<sub>3</sub>との間に配置されている。

15 このうち、レンズA<sub>3</sub>の凹面鏡側レンズ面r<sub>6</sub>と、レンズB<sub>1</sub>の第1面r<sub>30</sub>と、レンズB<sub>3</sub>の第2面r<sub>36</sub>と、レンズB<sub>5</sub>の第2面r<sub>40</sub>が、非球面に形成されている。すなわち都合4面の非球面を採用することにより、使用レンズ枚数がわずか13枚となり、球面レンズのみを使用した投影光学系の使用レンズ枚数の約1/2にまで低減している。

20 なお、上記両実施例では、レンズ面のみを非球面としているが、反射面M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>を非球面とすることも出来る。

以下の表5及び表6に、それぞれ第5及び第6実施例の諸元を示す。

各実施例とも、すべてのレンズの硝材は蛍石(CaF<sub>2</sub>)である。CaF<sub>2</sub>の使用波長(157nm)での屈折率は、1.56000としている。

25 また第1欄No中\*印を付した光学面は非球面を示し、非球面についての第2欄rは、頂点曲率半径である。この非球面の形状は、上述の(a)

式で表わしており、[非球面データ] に非球面係数  $C_4$ 、 $C_6$ 、 $C_8$ 、 $C_{10}$  を示した。円錐係数  $\kappa$  の値は、いずれの非球面も  $\kappa = 0.0$  である。

(表 5)

## [光学部材諸元]

5	No	r	d	
	0	$\infty$	83.472420	4
	* 1	-231.87193	20.000000	$A_1$
	2	-244.79824	50.000000	
	3	-513.72470	30.000000	$A_2$
10	4	-258.44409	326.710153	
	5	1231.09312	20.000000	$A_3$
	* 6	360.37184	153.952382	
	7	247.93778	70.000000	$A_4$
	* 8	-3176.57963	258.163716	
15	9	-160.72124	20.000000	$A_5$
	* 10	47747.21102	142.114876	
	11	-465.25991	-142.114876	$M_C$
	* 12	47747.20963	-20.000000	$A_5$
	13	-160.72124	-258.163716	
20	* 14	-3176.57963	-70.000000	$A_4$
	15	247.93778	-153.952382	
	* 16	360.37184	-20.000000	$A_3$
	17	1231.09312	-326.710153	
	18	-258.44409	-30.000000	$A_2$
25	19	-513.72470	-7.000000	
	20	$\infty$	175.000000	$M_1$

	* 21	-4661.49096	30.000000	B <sub>1</sub>
	22	-698.03846	447.687777	
	23	∞	-498.922351	M <sub>2</sub>
	* 24	-411.54200	-70.000000	B <sub>2</sub>
5	25	816.05499	-3.000000	
	26	—	-5.000000	A S
	27	-221.06022	-60.000000	B <sub>3</sub>
	* 28	-586.68226	-173.028510	
	* 29	-141.10262	-104.386800	B <sub>4</sub>
10	30	772.99694	-14.234034	
	31	∞		8

## [非球面データ]

	N o = 1	C 4 = 0.777914 × 10 <sup>-8</sup>	C 6 = 0.267640 × 10 <sup>-12</sup>
		C 8 = 0.749968 × 10 <sup>-17</sup>	C 10 = 0.170456 × 10 <sup>-21</sup>
15	N o = 6 (16)	C 4 = -0.161751 × 10 <sup>-8</sup>	C 6 = -0.421807 × 10 <sup>-13</sup>
		C 8 = 0.355946 × 10 <sup>-18</sup>	C 10 = 0.665954 × 10 <sup>-23</sup>
	N o = 8 (14)	C 4 = 0.206937 × 10 <sup>-8</sup>	C 6 = 0.395989 × 10 <sup>-13</sup>
		C 8 = -0.856301 × 10 <sup>-19</sup>	C 10 = -0.286013 × 10 <sup>-23</sup>
	N o = 10 (12)	C 4 = -0.199929 × 10 <sup>-8</sup>	C 6 = 0.348648 × 10 <sup>-13</sup>
20		C 8 = 0.335332 × 10 <sup>-18</sup>	C 10 = 0.286698 × 10 <sup>-22</sup>
	N o = 21	C 4 = -0.126585 × 10 <sup>-7</sup>	C 6 = -0.159095 × 10 <sup>-12</sup>
		C 8 = -0.132303 × 10 <sup>-17</sup>	C 10 = -0.213107 × 10 <sup>-22</sup>
	N o = 24	C 4 = 0.387097 × 10 <sup>-8</sup>	C 6 = 0.124414 × 10 <sup>-13</sup>
		C 8 = 0.795736 × 10 <sup>-19</sup>	C 10 = -0.948948 × 10 <sup>-24</sup>
25	N o = 28	C 4 = -0.320229 × 10 <sup>-8</sup>	C 6 = 0.180878 × 10 <sup>-13</sup>
		C 8 = -0.925279 × 10 <sup>-20</sup>	C 10 = -0.800264 × 10 <sup>-23</sup>

$$\begin{aligned}
 N_o = 29 \quad C_4 &= 0.320579 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.265320 \times 10^{-11} \\
 C_8 &= 0.183993 \times 10^{-15} & C_{10} &= 0.751169 \times 10^{-20}
 \end{aligned}$$

(表 6)

## 5 [光学部材諸元]

	N o	r	d	
	0	$\infty$	52.408660	4
	1	-377.54368	20.000000	A <sub>1</sub>
	2	-709.61847	66.700681	
10	3	247.34124	30.000000	A <sub>2</sub>
	4	-943.28430	0.081000	
	5	251.77574	30.000000	A <sub>3</sub>
	* 6	1233.12732	60.735167	
	7	-316.07403	30.000000	A <sub>4</sub>
15	8	-279.83058	14.320073	
	9	-641.14096	11.809800	A <sub>5</sub>
	10	129.96846	276.475471	
	11	434.42877	40.000000	A <sub>6</sub>
	12	-468.82151	103.196386	
20	13	-224.16905	12.000000	A <sub>7</sub>
	14	704.94761	30.977827	
	15	-320.24325	-30.977827	M <sub>C</sub>
	16	704.94761	-12.000000	A <sub>7</sub>
	17	-224.16905	-103.196386	
25	18	-468.82151	-40.000000	A <sub>6</sub>
	19	434.42877	-276.475471	

	20	129.96846	-11.809800	A <sub>5</sub>
	21	-641.14096	-14.320073	
	22	-279.83058	-30.000000	A <sub>4</sub>
	23	-316.07403	-60.735167	
5	* 24	1233.12732	-30.000000	A <sub>3</sub>
	25	251.77574	-0.081000	
	26	-943.28430	-30.000000	A <sub>2</sub>
	27	247.34124	3.000000	
	28	$\infty$	325.000000	M <sub>1</sub>
10	29	$\infty$	-74.935940	M <sub>2</sub>
	* 30	-420.87713	-20.000000	B <sub>1</sub>
	31	-1292.53566	-359.132456	
	32	-218.22714	-40.000000	B <sub>2</sub>
	33	6480.13829	-3.000000	
15	34	—	-5.000000	A S
	35	-191.90312	-25.000000	B <sub>3</sub>
	* 36	-411.42156	-93.480977	
	37	-151.40359	-35.000000	B <sub>4</sub>
	38	-1731.60232	-0.100000	
20	39	-199.23988	-15.000000	B <sub>5</sub>
	* 40	-95.56739	-3.000000	
	41	-85.50345	-56.459841	B <sub>6</sub>
	42	772.99694	-12.890860	
	43	$\infty$		8

25 [非球面データ]

$$N_o = 6(24) \quad C_4 = 0.112095 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.256500 \times 10^{-13}$$



		$C8 = 0.415931 \times 10^{-17}$	$C10 = 0.129399 \times 10^{-22}$
	$N_o = 30$	$C4 = 0.147271 \times 10^{-8}$	$C6 = 0.163160 \times 10^{-13}$
		$C8 = 0.300473 \times 10^{-18}$	$C10 = -0.529681 \times 10^{-23}$
	$N_o = 36$	$C4 = -0.110105 \times 10^{-7}$	$C6 = -0.285259 \times 10^{-14}$
5		$C8 = -0.428853 \times 10^{-18}$	$C10 = 0.122213 \times 10^{-21}$
	$N_o = 40$	$C4 = 0.284655 \times 10^{-7}$	$C6 = 0.259172 \times 10^{-11}$
		$C8 = 0.328472 \times 10^{-15}$	$C10 = -0.680232 \times 10^{-19}$

第18図に第5実施例の球面収差、非点収差及び歪曲収差を示し、第  
 10 19図に第5実施例の横収差を示す。同様に第21図と第22図に第6  
 実施例の諸収差を示す。各収差図においてNAは像側開口数を表し、Y  
 は像高を表す。また非点収差図中、点線Mはメリジオナル像面を表し、  
 実線Sはサジタル像面を表す。各図より明らかなように、157nmの  
 単波長において、各実施例ともほぼ無収差に近い状態まで良好に補正さ  
 15 れた優れた性能を有することが分かる。

さて、F<sub>2</sub>レーザの半値全幅(FWHM)は自然発振で(狭帯化なしで)  
 1～1.5pm程度の狭い波長幅であるため、わずかの狭帯化または狭  
 帯化をしないで用いることができる。以下の第23図に、本発明の実施  
 例が±0.5pm(幅1pm)の範囲で色収差補正を達成していること  
 20 を示す。なお、157nm付近におけるCaF<sub>2</sub>の屈折率は、前述の通り、  
 +1pmの波長変化あたり $-2.4 \times 10^{-6}$ の割合で変化し、-1pm  
 の波長変化あたり $+2.4 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。従って、基準波  
 長でのCaF<sub>2</sub>の屈折率が1.5600000とすると、基準波長+0.5pmの  
 波長では、1.5599988となり、基準波長-0.5pmの波長では、1.5600012  
 25 となる。第23図において、Yは像高を表し、xは基準波長+0.5p  
 mでの収差曲線、yは基準波長での収差曲線、zは基準波長-0.5p

mでの収差曲線を表す。

第23図より明らかなように、本発明の実施例にかかる反射屈折光学系は、少なくとも1  $\mu\text{m}$ の範囲で色収差補正が達成されていることが分かる。なお、さらなる最適化を行えば、10  $\mu\text{m}$ の波長幅の範囲で色収  
5 差補正を達成することが可能である。

以上のように、その目的に合った場所の少なくとも4箇所に、その目的に合った形状の非球面を配置することにより、ほとんどすべての収差を同時に補正することができる。その結果、最終的には、レンズ枚数を大幅に削減した、劇的に小型の反射屈折光学系を得ることができる。従  
10 って、180 nm以下の波長の露光光を用いる場合であっても高解像を達成しつつ光量損失の低下を最低限に抑えることが可能である。本発明の反射屈折光学系を投影露光装置に適用すれば、サブミクロン単位以下の分解能のもとでパターンをワーク（ウエハ）へ高いスループットのもとで転写することが可能である。

15 このように本発明の実施例によれば、最小の非球面要素を使いながら、最大の効果を得ることができるのである。もちろん、4面を越えてさらに非球面を追加して使用することにより、さらに小型で、レンズ枚数の少ない反射屈折光学系を得ることも可能である。

また、上記第3、第4および第6実施例では、第1光路偏向部材としての平面鏡 $M_1$ と第2光路偏向部材としての平面鏡 $M_2$ との間にレンズ成分が介在しない、すなわち重力方向に対して非平行な光軸を有するレ  
20 ンズ成分が存在しない。従って、レンズ成分および凹面鏡においては、重力による非対称な変形を招かず、投影光学系の大開口数化や大露光領域化を図っても結像性能の劣化を十分に抑えることができる。

25 さて、上述の各実施例にしたがう投影露光装置は、以下の手法により製造することができる。

まず、180 nmよりも短い中心波長の照明光によってマスク上のパターンを照明するための照明光学系を準備する。具体的には、中心波長が157.6 nmのF<sub>2</sub>レーザ光を用いてマスクパターンを照明する照明光学系を準備する。このとき、照明光学系は、半値全幅20 μm以内の  
5 スペクトル幅の照明光を供給するように構成される。なお、半値全幅2 μm以内のスペクトル幅の照明光を供給するものを適用しても良い。

次いで、マスク上のパターンの像を感光性基板上の感光面に結像するための投影光学系を準備する。投影光学系を準備することは、複数の屈折性光学素子を準備して、これら複数の屈折性光学素子を組上げることを含むものである。そして、これらの照明光学系および投影光学系を前  
10 述の機能を達成するように電氣的、機械的または光学的に連結することにより、各実施例にかかる投影露光装置を製造することができる。

次に、上記の実施の形態の投影露光装置を用いてウエハ上に所定の回路パターンを形成する際の動作の一例につき第24図のフローチャートを参照して説明する。  
15

先ず、第24図のステップ101において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ102において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ103において、第1実施例（第4A、4B図）の投影光学系7を備えた第  
20 3図の投影露光装置を用いて、マスク（投影原版）4上のパターンの像がその投影光学系7を介して、その1ロットのウエハ（ワーク）上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ104において、その1ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ105において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク4上のパターンに対応  
25 する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その

後、更に上のレイヤの回路パターン形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。なお、以上では第1実施例の投影光学系を用いたが、その代わりに第2～第6実施例の何れかの投影光学系を用いても良い。

- 5       さて、上述の各実施例では、投影光学系を屈折性の光学部材で構成し、この光学部材の材料として $\text{CaF}_2$ （フッ化カルシウム）を使用しているが、この $\text{CaF}_2$ に加えて、あるいは $\text{CaF}_2$ に代えて、例えばフッ化バリウム（ $\text{BaF}$ ）、フッ化リチウム（ $\text{LiF}$ ）、フッ化マグネシウム（ $\text{MgF}_2$ ）、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド（ $\text{LiCaAlF}_6$ ）、  
10       およびリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライド（ $\text{LiSrAlF}_6$ ）などのフッ化物の結晶材料やフッ素がドーブされた石英やゲルマニウムがドーブされた石英などを使用しても良い。なお、上述において、投影光学系中の屈折性の光学部材（レンズ成分・平行平板）は、フッ化カルシウム（ $\text{CaF}_2$ ）、フッ化バリウム（ $\text{BaF}$ ）、  
15       リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド（ $\text{LiCaAlF}_6$ ）、およびリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライド（ $\text{LiSrAlF}_6$ ）からなるフッ化物の結晶材料のうち、少なくとも1種類の材料で形成されることがさらに好ましい。ここで、フッ化リチウム（ $\text{LiF}$ ）は、 $180\text{nm}$ 以下の露光光に対する透過率の点では使用  
20       可能であるが、潮解性を有するため好ましくない。また、フッ化マグネシウム（ $\text{MgF}_2$ ）は、複屈折性を有するので投影光学系に使用することは好ましくない。但し、照明光学系では多少の複屈折があってもかまわないため、照明光学系ではフッ化マグネシウム（ $\text{MgF}_2$ ）を使用することができる。また、フッ素ドーブ石英については、材料中の屈折率の  
25       均一性を向上させることが困難であるため、投影光学系に使用することは好ましくない。

また、マスクを照明する照明光において十分な狭帯化が可能であるならば、投影光学系は単一種類の光学材料で構成することが好ましい。さらに、投影光学系の製造のし易さや製造コストを考えると、投影光学系は $\text{CaF}_2$ のみで構成されることが好ましい。

5      また、上述の各実施例では、結像光束の遮蔽をなくして像質を向上させるために露光領域を光軸から外れた位置に設定したが、広い露光領域を十分に確保するために光軸を含む位置に露光領域を設定しても良い。なお、この場合、多少の結像光束の遮蔽や光量損失が起こる可能性があるが、実用上無視し得る範囲であれば問題ない。

10      なお、上述の各実施例では、光源からウエハへ至る光路をヘリウムガスで置換しているが、光路の一部あるいは全部を窒素( $\text{N}_2$ )ガスで置換しても良い。

さらに、上述の各実施例では、光源として $\text{F}_2$ レーザを用い、狭帯化装置によりそのスペクトル幅を狭帯化しているが、その代わりに、157  
15      nmに発振スペクトルを持つYAGレーザなどの固体レーザの高調波を用いるようにしても良い。また、DFB半導体レーザまたはファイバーレーザから発振される赤外域または可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（またはエルビウムとイットリビウムとの両方）がドーブされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波  
20      長変換した高調波を用いても良い。

例えば、単一波長レーザ光の発振波長を $1.51 \sim 1.59 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $151 \sim 159 \text{ nm}$ の範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を $1.57 \sim 1.58 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $157 \sim 158 \text{ nm}$ の範囲内の10倍高調波、すな  
25      わち $\text{F}_2$ レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。また、発振波長を $1.03 \sim 1.12 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $147 \sim 1$

60 nmの範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を1.099～1.106  $\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が157～158  $\mu\text{m}$ の範囲内の7倍高調波、すなわち $F_2$ レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしては、イットリビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いる。

このように、レーザ光源からの高調波を使用する場合には、この高調波自体が十分に狭帯化されたスペクトル幅（例えば0.01  $\mu\text{m}$ 程度）であるので、上述の各実施例の光源1の代わりに用いることができる。

また、 $F_2$ レーザの波長幅が自然発振で1～1.5  $\mu\text{m}$ 程度の波長幅である場合には狭帯化しなくとも良い。

また、 $F_2$ レーザに代えて、波長147 nmの光を供給する $Kr_2$ レーザや波長135 nmの光を供給する $ArKr$ レーザ、波長126 nmの光を供給する $Ar_2$ レーザなども光源として利用できる。

さて、本発明は、ウエハ上の1つのショット領域へマスクパターン像を一括的に転写した後に、投影光学系の光軸と直交する面内でウエハを逐次二次元的に移動させて次のショット領域にマスクパターン像を一括的に転写する工程を繰り返すステップ・アンド・リピート方式（一括露光方式）や、ウエハの各ショット領域への露光時にマスクとウエハとを投影光学系に対して投影倍率 $\beta$ を速度比として同期走査するステップ・アンド・スキャン方式（走査露光方式）の双方に適用することができる。なお、ステップ・アンド・スキャン方式では、スリット状（細長い矩形状）の露光領域内で良好な結像特性が得られればよいため、投影光学系を大型化することなく、ウエハ上のより広いショット領域に露光を行うことができる。

また、上述の各実施例では、矩形状の露光領域を用いているが、円弧形状の露光領域とすることも可能である。

- ところで、上述の各実施例では、縮小投影光学系を用いているが、投影光学系は縮小系に限定されることなく等倍系または拡大系（例えば液晶ディスプレイ製造用露光装置など）を用いても良い。さらに、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含む
- 5 ディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、撮像素子（CCD など）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。また、レチクルまたはマスクを製造するためにガラス基板または
- 10 シリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも、本発明を適用することができる。

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されることなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

## 請求の範囲

1. パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、  
前記マスクからの放射に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための投影光学系とを有し、
- 5 前記照明光学系は 180nm 以下の中心波長を有する照明光を供給し、  
前記投影光学系は、少なくとも 1 つの凹面鏡と、15 枚以下の屈折レンズとを有し、且つ 4 面以上の非球面とを有することを特徴とする投影露光装置。
2. 請求の範囲 1 記載の投影露光装置において、
- 10 前記屈折レンズは全て同一の材料によって形成されることを特徴とする投影露光装置。
3. 請求の範囲 2 記載の投影露光装置において、  
前記屈折レンズの前記材料は、蛍石であることを特徴とする投影露光装置。
- 15 4. 請求の範囲 2 または 3 記載の投影露光装置において、  
前記照明光学系は、180nm 以下の中心波長を有し且つ 10pm 以下の半値全幅を有する照明光を供給することを特徴とする投影露光装置。
5. 請求の範囲 1 記載の投影露光装置において、  
前記屈折レンズは、蛍石を含むことを特徴とする投影露光装置。
- 20 6. 請求の範囲 1 乃至 5 の何れか一項記載の投影露光装置において、  
前記投影光学系は前記マスクの中間像を形成し、且つ前記マスクと前記中間像との間の光路中に配置される第 1 結像光学系と、前記中間像と前記ワークとの間の光路中に配置される第 2 結像光学系とを含み、  
前記第 1 及び第 2 結像光学系のうちの一方は前記少なくとも 1 つの凹  
25 面鏡を含み、他方は開口絞りを含むことを特徴とする投影露光装置。
7. 請求の範囲 6 記載の投影露光装置において、



前記少なくとも1つの凹面鏡は前記第1結像光学系中に位置し、前記開口絞りは前記第2結像光学系中に位置することを特徴とする投影露光装置。

8. 請求の範囲6記載の投影露光装置において、

- 5 前記第1結像光学系からの光束を前記第2光学系へ導く反射鏡を有することを特徴とする投影露光装置。

9. 請求の範囲1記載の投影露光装置において、

前記非球面は、前記屈折レンズが有する2つのレンズ面のうちの一方のみに形成されることを特徴とする投影露光装置。

- 10 10. 露光光によりマスクを照明し、該マスク上のパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する露光方法において、

請求の範囲1乃至9の何れか一項記載の投影露光装置を用いて前記マスク上の前記パターンの像を前記ワーク上に形成することを特徴とする露光方法。

- 15 11. 凹面鏡を含む第1結像光学系によって、第1面の中間像を形成し、開口絞りを含む第2結像光学系によって、前記中間像の再結像を第2面上に形成し、前記第1結像光学系からの光束を前記第2結像光学系に導くように反射面を設けた反射屈折光学系において、

- 20 該反射屈折光学系は、15枚以下の屈折レンズを有し、且つ4面以上の非球面を有することを特徴とする反射屈折光学系。

12. 請求の範囲11記載の反射屈折光学系において、

前記屈折レンズはすべて同一の硝材によって形成されていることを特徴とする反射屈折光学系。

- 25 13. パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための反射屈折型の投影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記照明光学系は、180 nm以下の中心波長を有し且つ20 μm以下の半値全幅を有する照明光を供給するように構成され、

前記投影光学系は、レンズ成分と凹面反射鏡とを含み、

前記レンズ成分および前記凹面反射鏡は、前記照明光に対する前記投影光学系の色収差を実質的に補正するように位置決めされていることを特徴とする投影露光装置。

14. 請求の範囲13記載の投影露光装置において、

前記投影光学系を構成するすべてのレンズ成分および凹面反射鏡が共通の光軸に沿って配置されていることを特徴とする投影露光装置。

15 15. 請求の範囲14記載の投影露光装置において、

前記投影光学系は、ただ1つの凹面反射鏡、複数のレンズ成分、および1つまたは複数の平面反射鏡のみから構成されていることを特徴とする投影露光装置。

16. 請求の範囲15記載の投影露光装置において、

15 前記照明光の半値全幅は2 μm以下であることを特徴とする投影露光装置。

17. 請求の範囲16記載の投影露光装置において、

前記投影光学系は、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの一次像を形成するための第1結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記パターンの二次像を前記ワーク上に形成するための第2結像光学系とを有することを特徴とする投影露光装置。

18. 請求の範囲17記載の投影露光装置において、

前記第1結像光学系のレンズの最大有効径を $h_1$ とし、前記第2結像光学系のレンズの最大有効径を $h_2$ としたとき、

25 
$$0.7 < h_1 / h_2 < 1.4$$

の条件を満足することを特徴とする投影露光装置。

1 9. 請求の範囲 1 4 記載の投影露光装置において、

前記投影光学系は、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの一次像を形成するための第 1 結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記パターンの二次像を前記ワーク上に形成するための第 2 結像光学系とを有することを特徴とする投影露光装置。

2 0. 請求の範囲 1 3 記載の投影露光装置において、

前記投影光学系は、ただ 1 つの凹面反射鏡、複数のレンズ成分、および 1 つまたは複数の平面反射鏡のみから構成されていることを特徴とする投影露光装置。

10 2 1. 請求の範囲 1 3 記載の投影露光装置において、

前記照明光の半値全幅は 2  $\mu\text{m}$  以下であることを特徴とする投影露光装置。

2 2. 請求の範囲 2 1 記載の投影露光装置において、

前記投影光学系を構成するすべてのレンズ成分および凹面反射鏡が共通の光軸に沿って配置されていることを特徴とする投影露光装置。

2 3. 請求の範囲 2 2 記載の投影露光装置において、

前記投影光学系は、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの一次像を形成するための第 1 結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記パターンの二次像を前記ワーク上に形成するための第 2 結像光学系とを有することを特徴とする投影露光装置。

2 4. 請求の範囲 2 1 記載の投影露光装置において、

前記投影光学系は、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの一次像を形成するための第 1 結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記パターンの二次像を前記ワーク上に形成するための第 2 結像光学系とを有することを特徴とする投影露光装置。

2 5. 請求の範囲 1 3 記載の投影露光装置において、

前記投影光学系は、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの一次像を形成するための第1結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記パターンの二次像を前記ワーク上に形成するための第2結像光学系とを有することを特徴とする投影露光装置。

5 26. 請求の範囲25記載の投影露光装置において、

前記第1結像光学系のレンズの最大有効径を $h_1$ とし、前記第2結像光学系のレンズの最大有効径を $h_2$ としたとき、

$$0.7 < h_1 / h_2 < 1.4$$

の条件を満足することを特徴とする投影露光装置。

10 27. パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための反射屈折型の投影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記照明光学系は、180nm以下の中心波長を有し且つ所定値以下の半値全幅を有する照明光を供給するように構成され、

15 前記投影光学系は、屈折力を有する光学部材と、前記マスクに近接して配置されて前記屈折力を有する光学部材を外部の雰囲気と隔てるための光透過性の光学部材を有し、

前記投影光学系の光軸と平行な方向に沿った前記マスクと前記光透過性の光学部材との間の間隔は50mm以下に設定されていることを特徴

20 とする投影露光装置。

28. 請求の範囲27記載の投影露光装置において、

前記光透過性の光学部材は、平行平板を有することを特徴とする投影露光装置。

29. 請求の範囲28記載の投影露光装置において、

25 前記平行平板は交換可能に設けられることを特徴とする投影露光装置。

30. 請求の範囲27記載の投影露光装置において、

前記照明光の半値全幅は20 $\mu$ m以下であることを特徴とする投影露光装置。

31. 請求の範囲30記載の投影露光装置において、

5 前記投影光学系を構成するすべてのレンズ成分および凹面反射鏡が共通の光軸に沿って配置されていることを特徴とする投影露光装置。

32. 請求の範囲31記載の投影露光装置において、

前記投影光学系は、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの一次像を形成するための第1結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記パターンの二次像を前記ワーク上に形成するための第2結像光学系とを有することを特徴とする投影露光装置。

33. 請求の範囲31記載の投影露光装置において、

前記投影光学系は、ただ1つの凹面反射鏡、複数のレンズ成分、および1つまたは複数の平面反射鏡のみから構成されていることを特徴とする投影露光装置。

34. 請求の範囲30記載の投影露光装置において、

前記投影光学系は、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの一次像を形成するための第1結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記パターンの二次像を前記ワーク上に形成するための第2結像光学系とを有することを特徴とする投影露光装置。

35. 請求の範囲34記載の投影露光装置において、

前記第1結像光学系のレンズの最大有効径を $h_1$ とし、前記第2結像光学系のレンズの最大有効径を $h_2$ としたとき、

$$0.7 < h_1 / h_2 < 1.4$$

25 の条件を満足することを特徴とする投影露光装置。

36. 請求の範囲27記載の投影露光装置において、

前記照明光の半値全幅は2  $\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする投影露光装置。

37. 請求の範囲36記載の投影露光装置において、

5 前記投影光学系は、前記マスクからの光に基づいて前記パターン的一次像を形成するための第1結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記パターンの二次像を前記ワーク上に形成するための第2結像光学系とを有することを特徴とする投影露光装置。

38. 請求の範囲36記載の投影露光装置において、

10 前記投影光学系を構成するすべてのレンズ成分および凹面反射鏡が共通の光軸に沿って配置されていることを特徴とする投影露光装置。

39. 請求の範囲27記載の投影露光装置において、

前記投影光学系の光軸と平行な方向に沿った前記マスクと前記光透過性の光学部材との間の間隔は20 mm以下に設定されていることを特徴とする投影露光装置。

15 40. 請求の範囲27記載の投影露光装置において、

前記投影光学系の光軸と平行な方向に沿った前記マスクと前記光透過性の光学部材との間の間隔は5 mm以下に設定されていることを特徴とする投影露光装置。

41. 請求の範囲27記載の投影露光装置において、

20 前記投影光学系の光軸と平行な方向に沿った前記マスクと前記光透過性の光学部材との間の間隔は1 mm以下に設定されていることを特徴とする投影露光装置。

42. 請求の範囲27記載の投影露光装置において、

25 前記投影光学系の内部の雰囲気は不活性ガスで置換され、前記投影光学系内部の雰囲気は、前記マスクの周囲の雰囲気よりも高いクリーン度であることを特徴とする投影露光装置。

4 3. 請求の範囲 4 2 記載の投影露光装置において、

前記マスクを密封包囲するためのケーシングをさらに備えることを特徴とする投影露光装置。

4 4. 請求の範囲 2 7 記載の投影露光装置において、

5 前記投影光学系の内部の雰囲気は不活性ガスで置換され、

前記投影光学系内部の雰囲気は、前記ワークの周囲の雰囲気よりも高いクリーン度であることを特徴とする投影露光装置。

4 5. 露光光によりマスクを照明し、該マスク上のパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する露光方法において、

10 請求の範囲 1 3 乃至 4 4 の何れか一項記載の投影露光装置を用いて前記マスク上の前記パターンの像を前記ワーク上に形成することを特徴とする露光方法。

4 6. 前記投影光学系は、矩形状の露光領域を前記ワーク上に規定することを特徴とする請求の範囲 1 3 乃至 4 4 の何れか一項記載の投影露光装置。

4 7. 露光光によりマスクを照明し、該マスク上のパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する露光方法において、

請求の範囲 4 6 記載の投影露光装置を用いて前記マスク上の前記パターンの像を前記ワーク上に形成することを特徴とする露光方法。

20 4 8. パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための反射屈折型の投影光学系とを備えた投影露光装置において、

第 1 の光軸に沿って配置された凹面反射鏡および屈折光学部材からなり、前記パターンの中間像を形成する第 1 結像光学系と、

25 第 2 の光軸に沿って配置された屈折光学部材を有し、前記中間像の縮小像を前記ワーク上に形成する第 2 結像光学系と、

前記第 1 結像光学系と前記第 2 結像光学系との間に配置された第 1 光路偏向部材と、

前記第 1 光路偏向部材と前記第 2 結像光学系との間に配置された第 2 光路偏向部材とを備え、

- 5 前記第 1 および第 2 の光軸は互いに平行であり、かつ前記第 1 および第 2 光路偏向部材の間には屈折光学部材が介在しないことを特徴とする投影露光装置。

49. 請求の範囲 48 記載の投影露光装置において、

前記縮小像は、前記パターン面に対して平行に形成され、

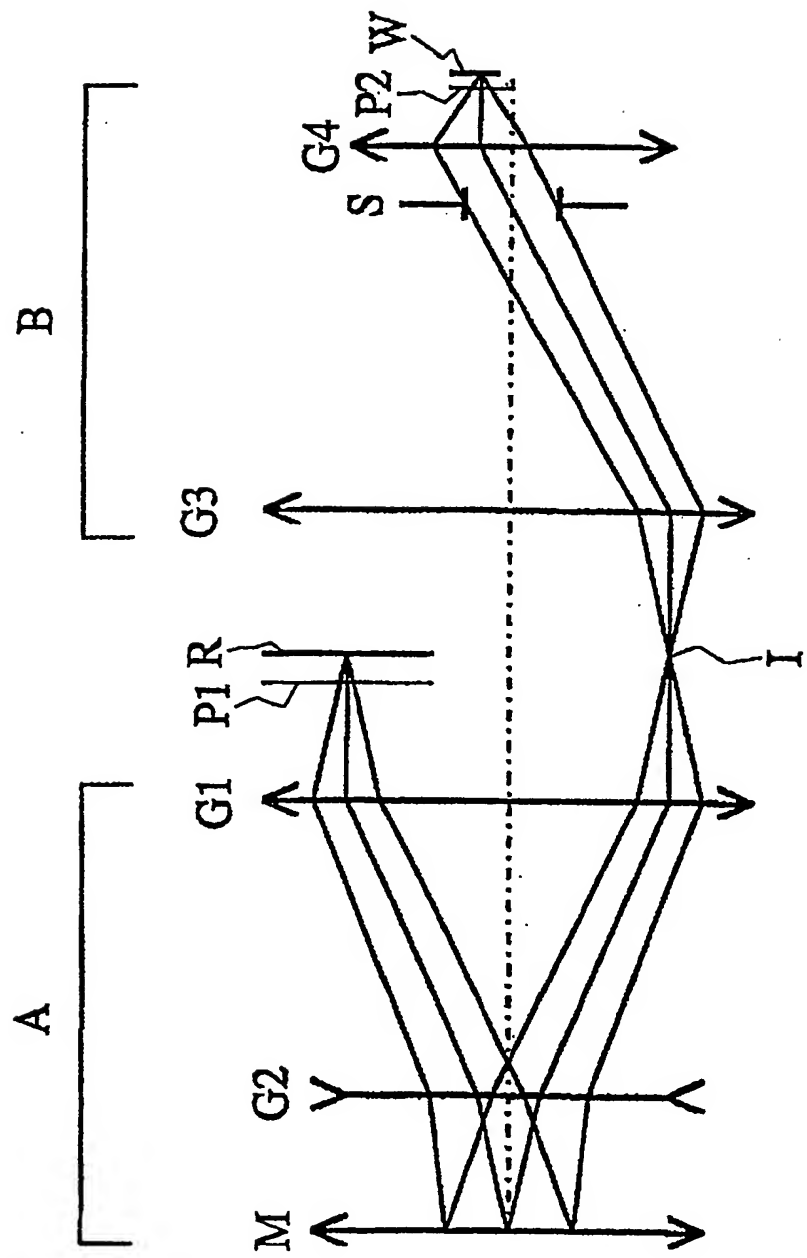
- 10 前記第 1 および第 2 の光軸は、重力方向と実質的に平行に位置決めされることを特徴とする投影露光装置。

50. 露光光によりマスクを照明し、該マスク上のパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する露光方法において、

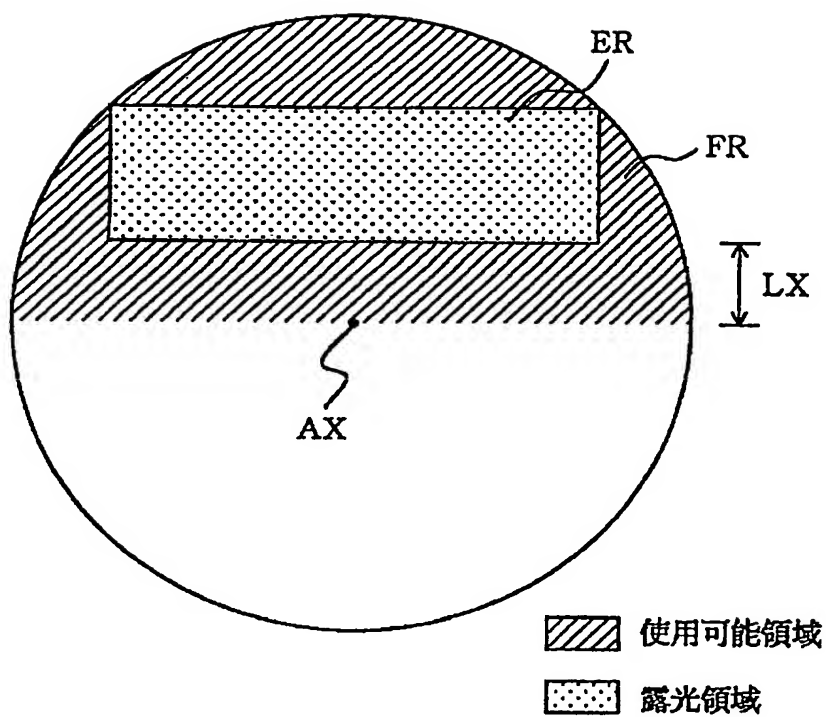
- 15 請求の範囲 49 記載の投影露光装置を用いて前記マスク上の前記パターンの像を前記ワーク上に形成することを特徴とする露光方法。



第 1 図

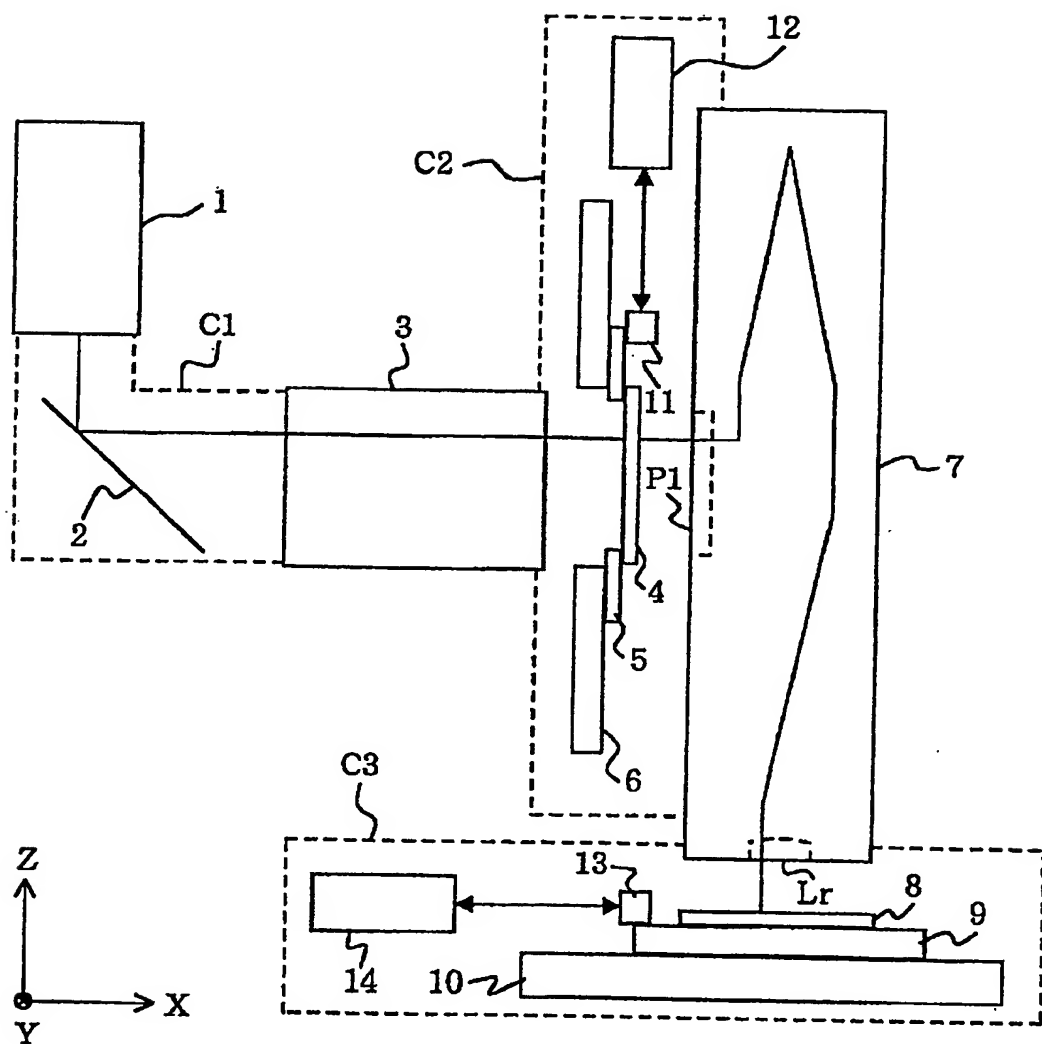


第 2 図

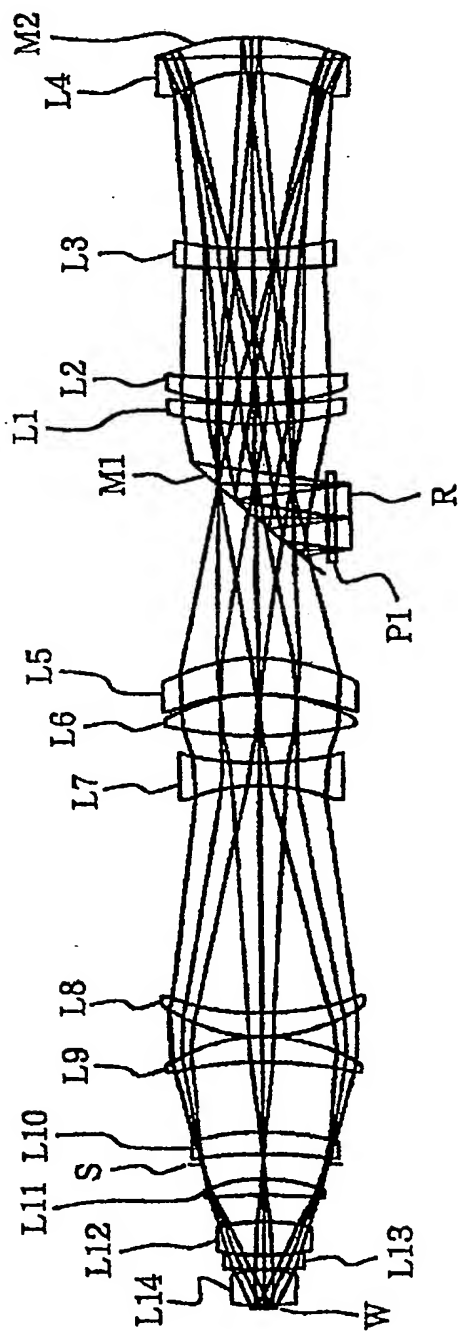


3/24

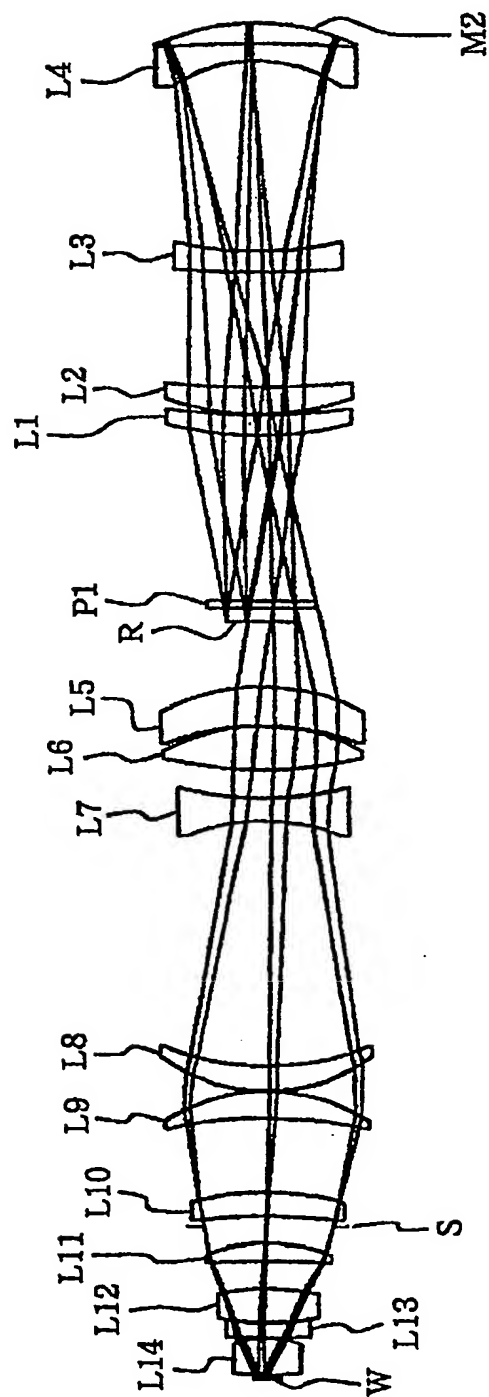
第 3 図



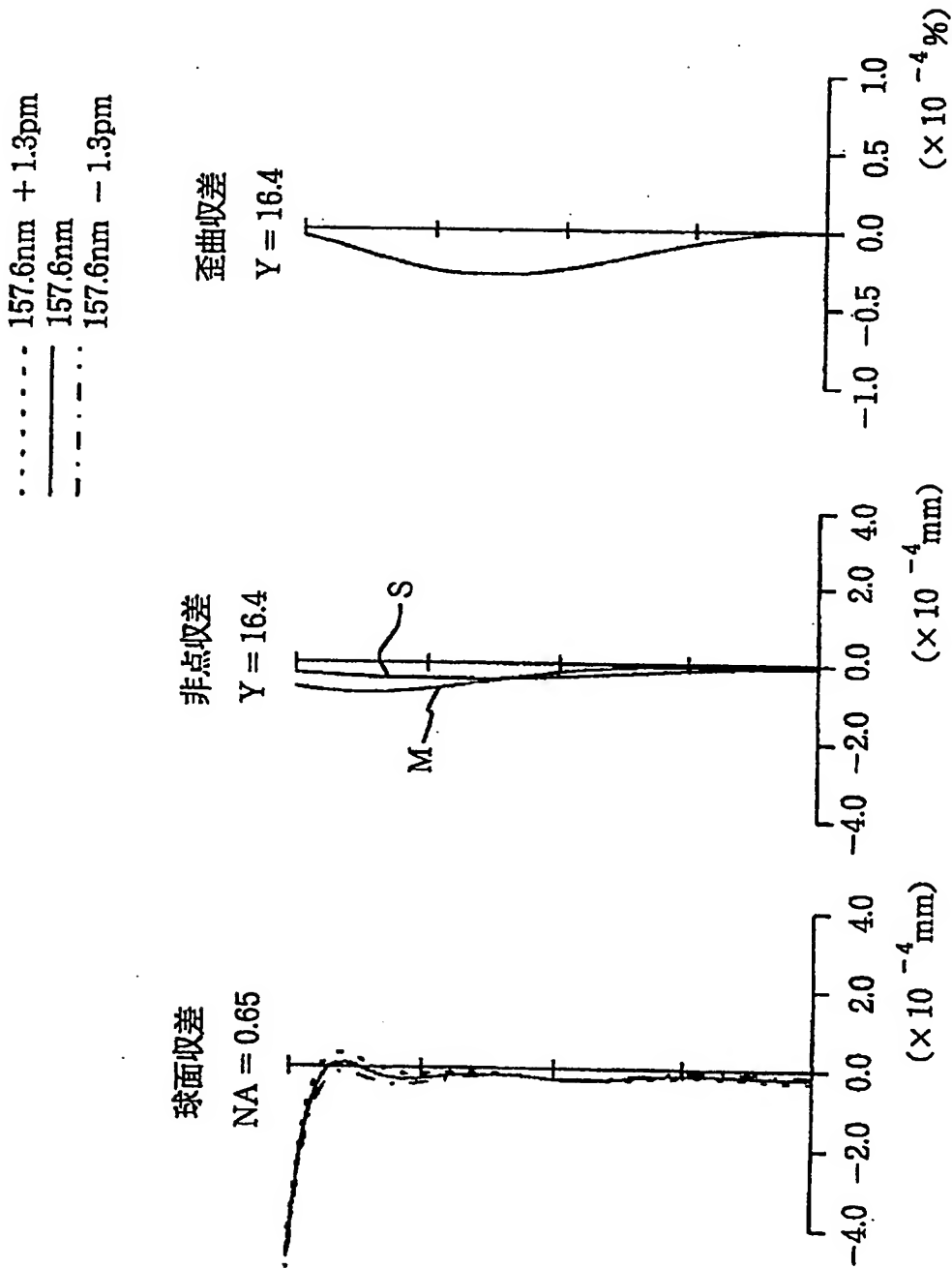
第 4A 図



第 4 B 図

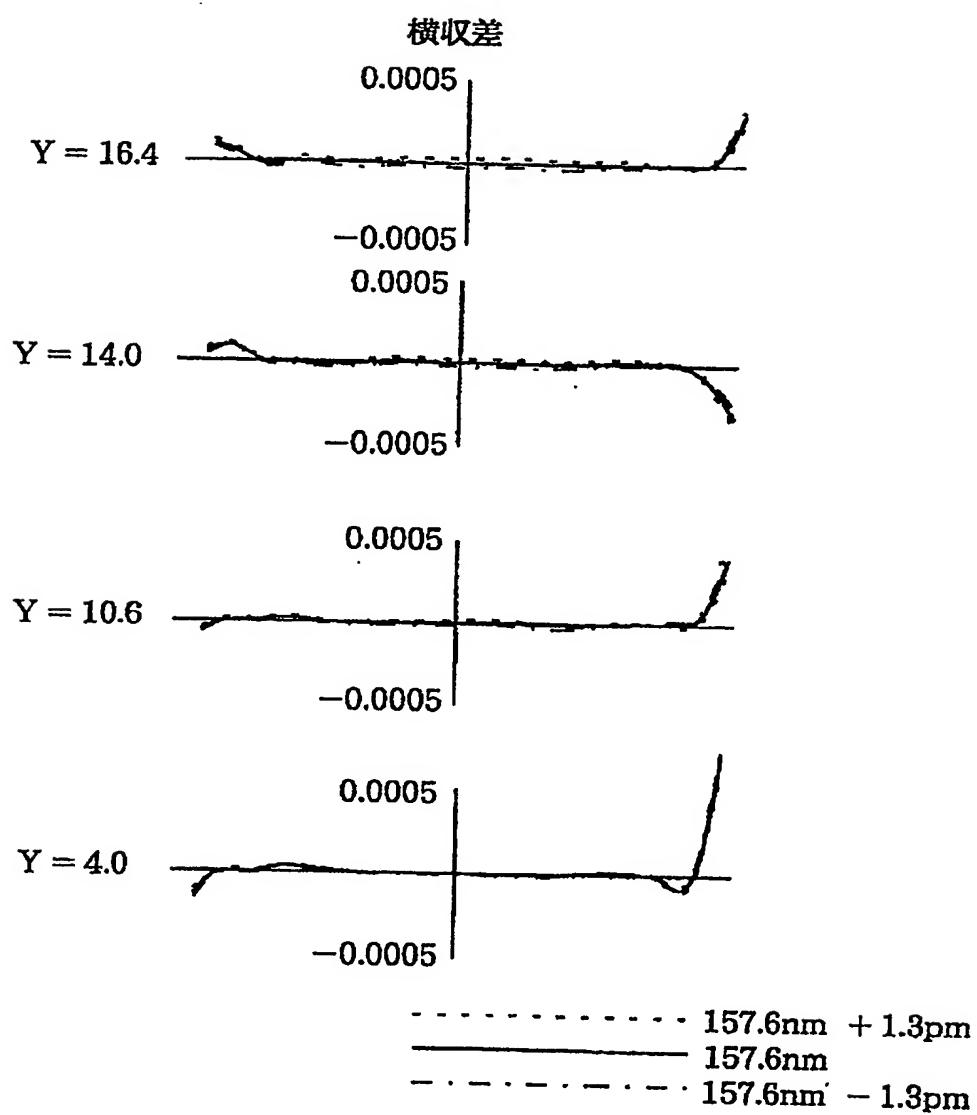


第 5 图



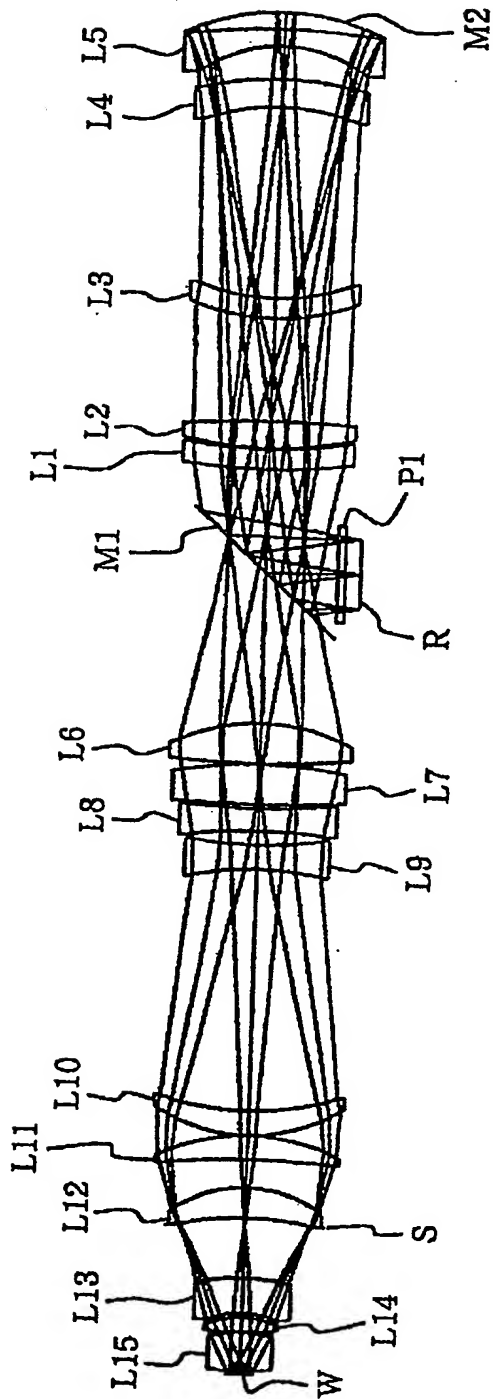
6/24

## 第 6 図

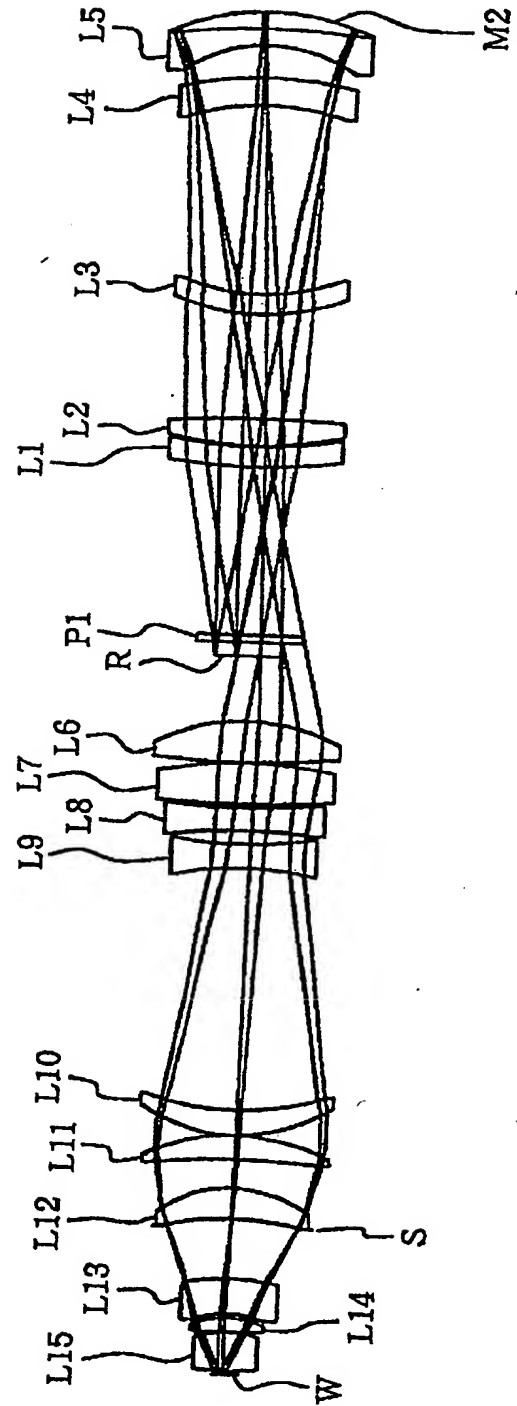


7/24

第 7 A 図

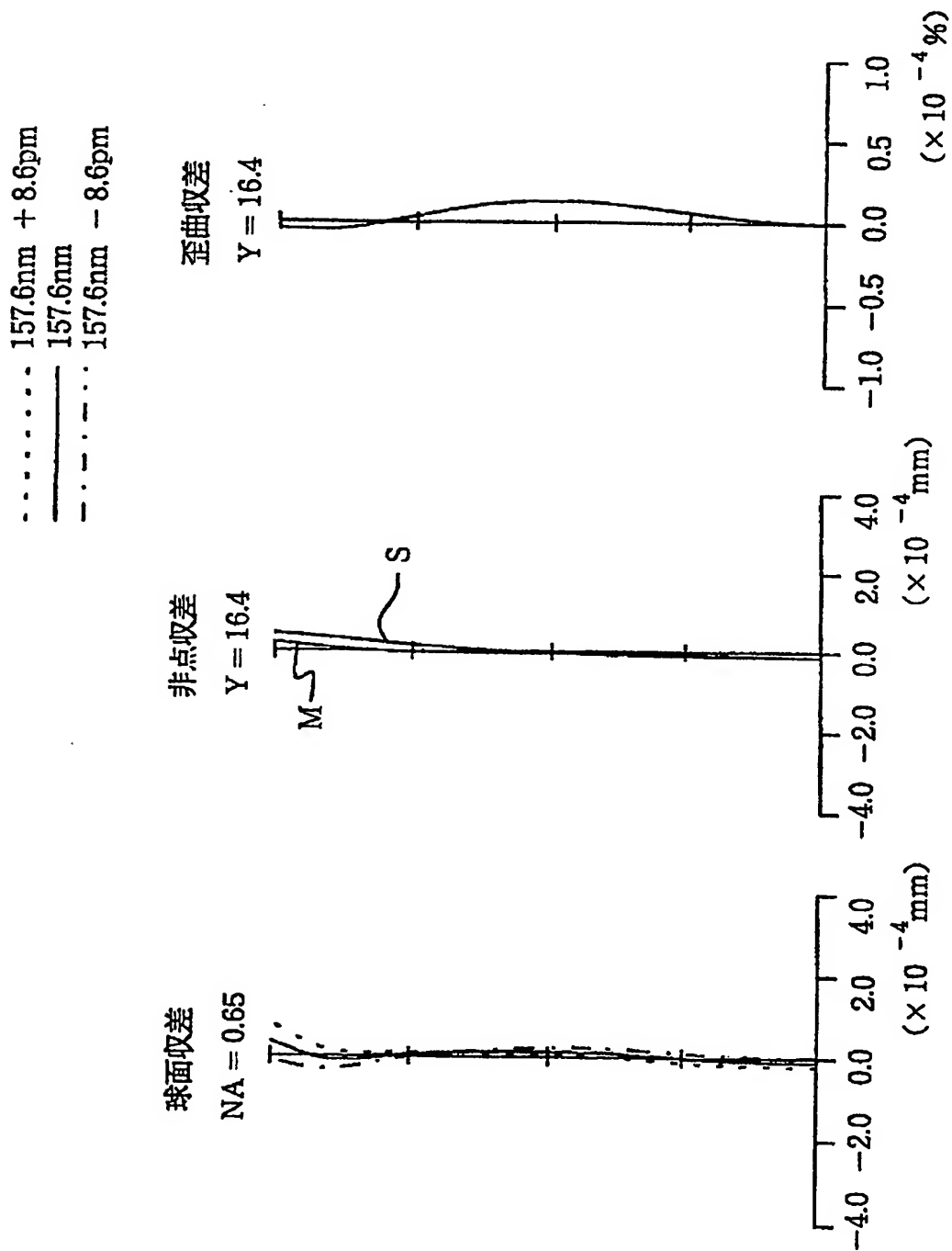


第 7 B 図



8/24

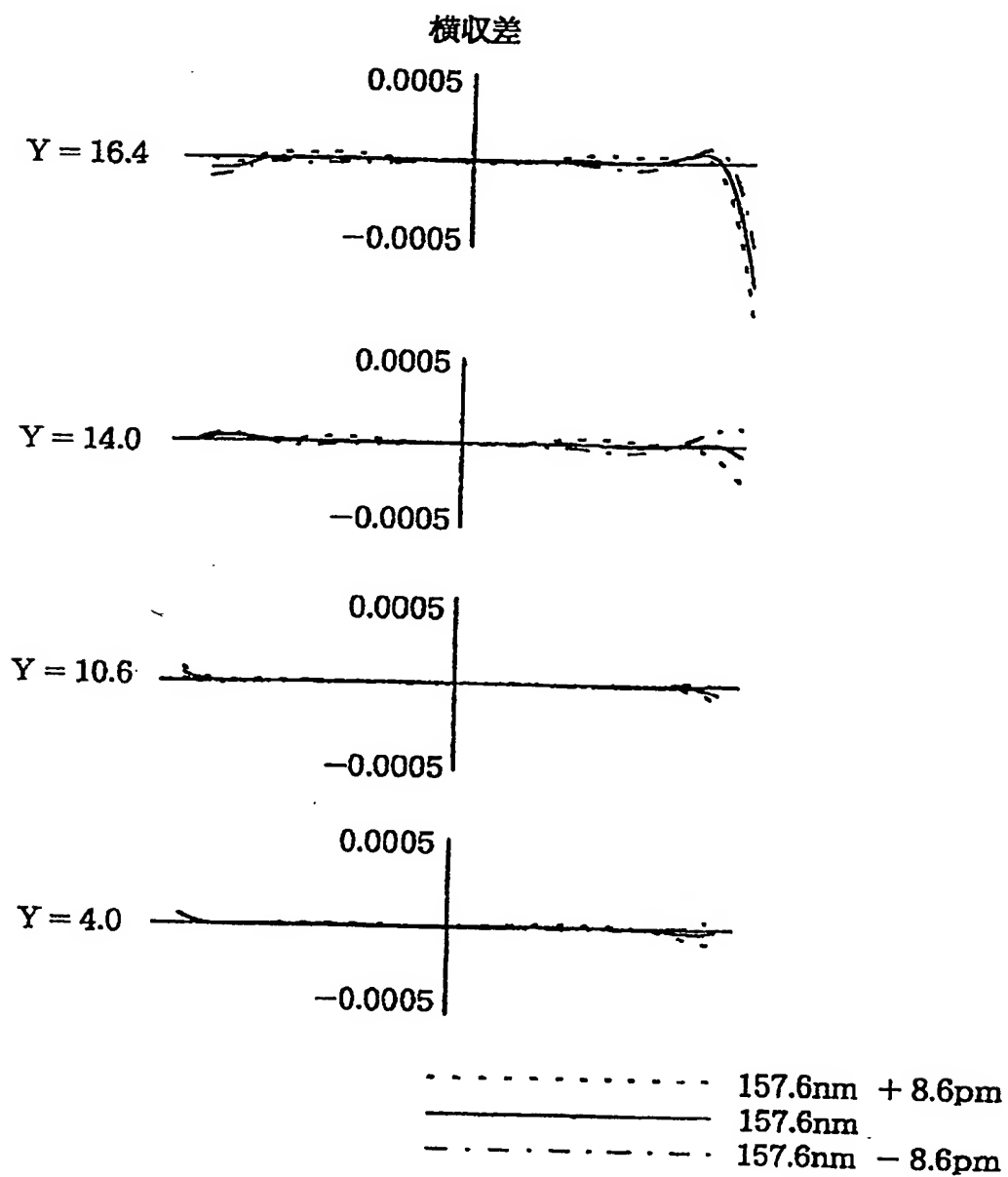
## 第 8 図





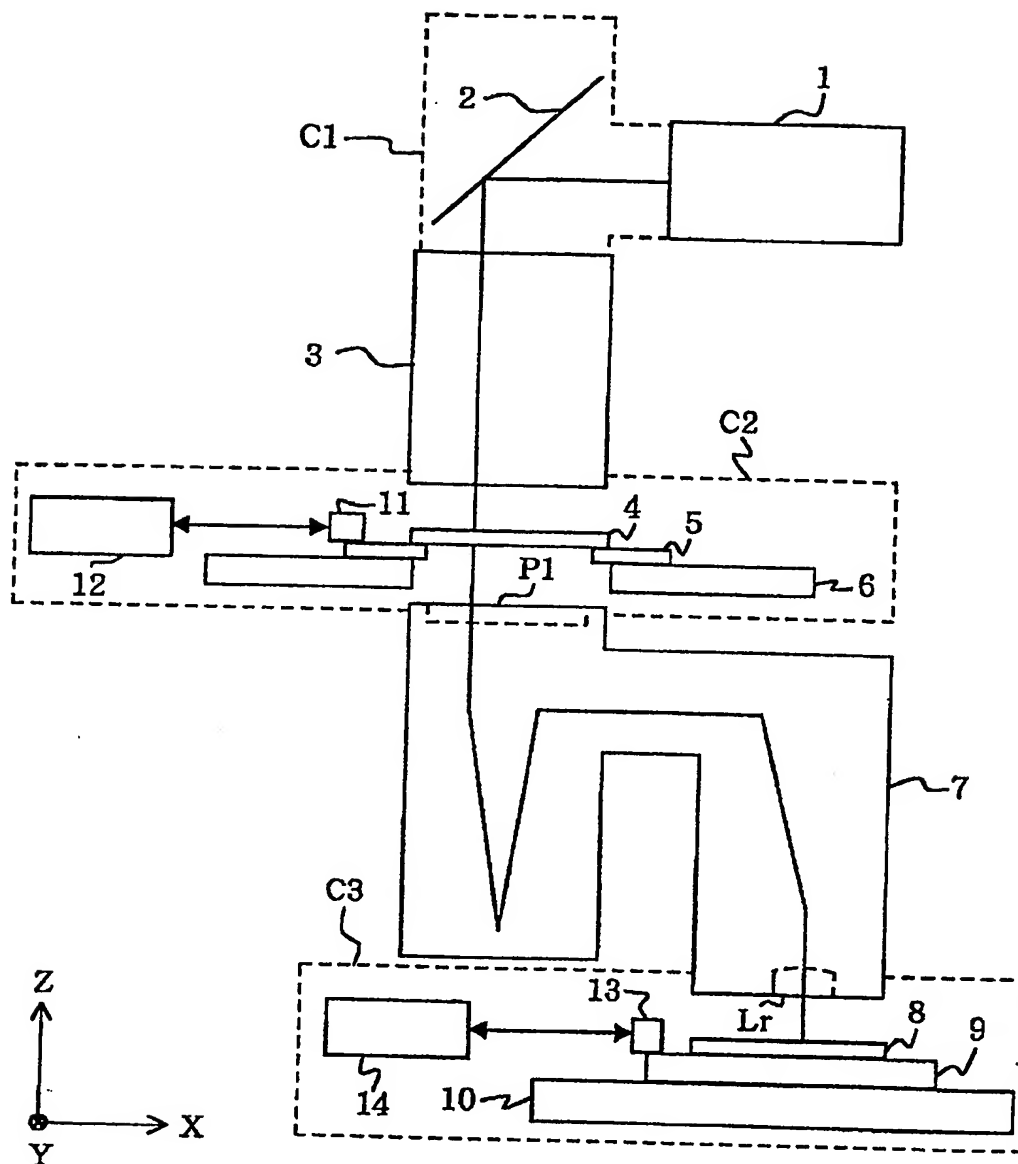
9/24

## 第 9 図



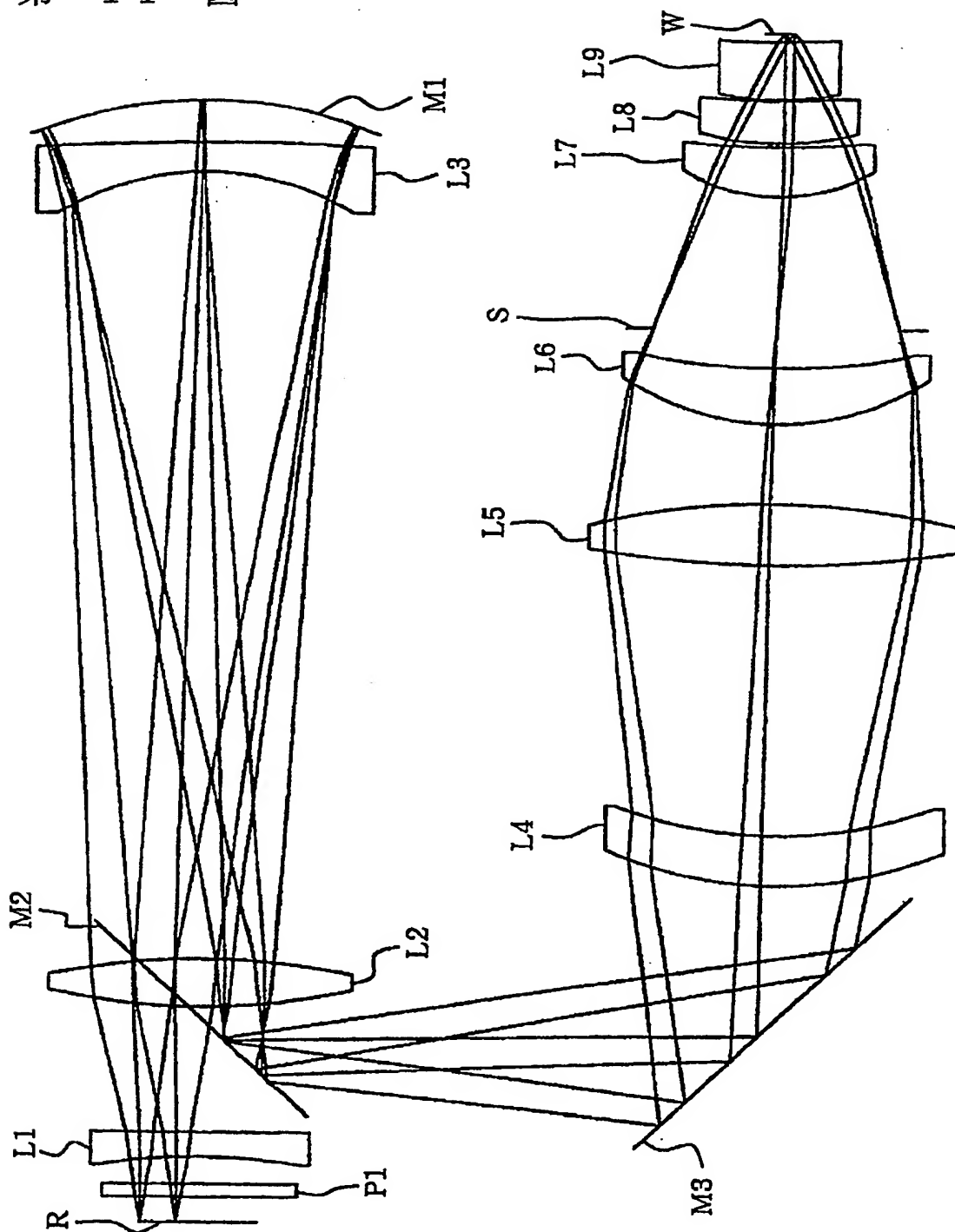
10/24

## 第 10 図



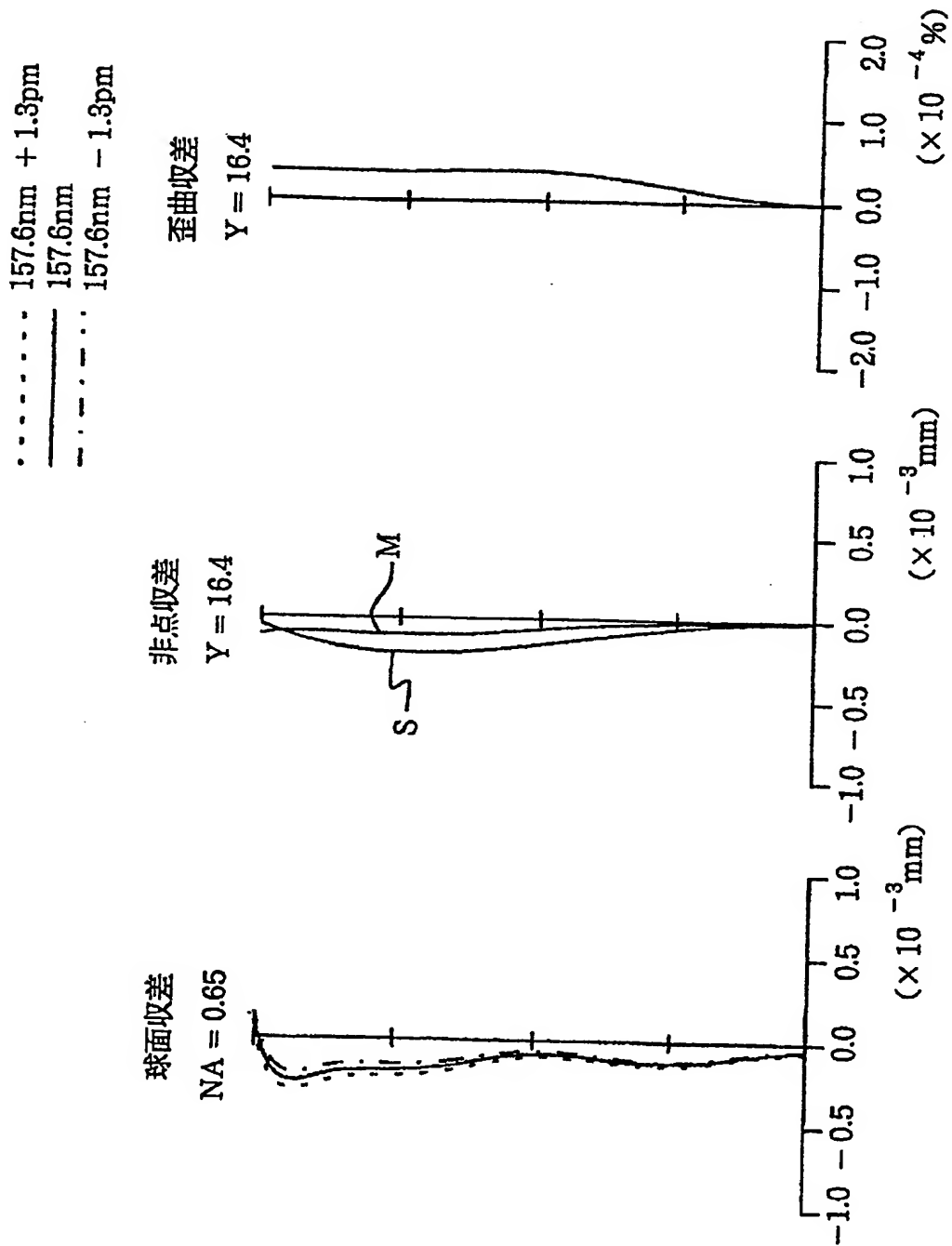
11/24

第 11 図



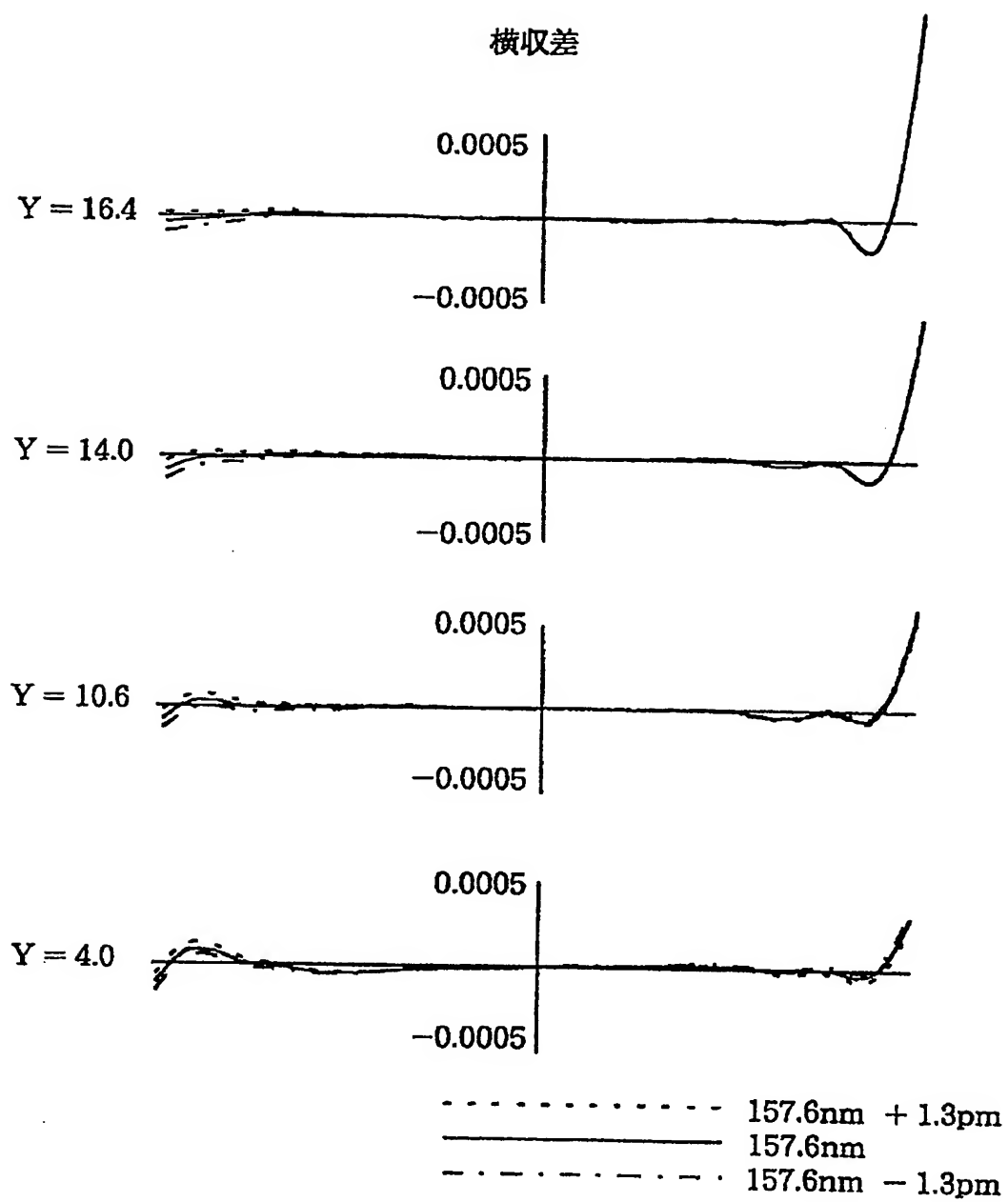
12/24

## 第 12 图



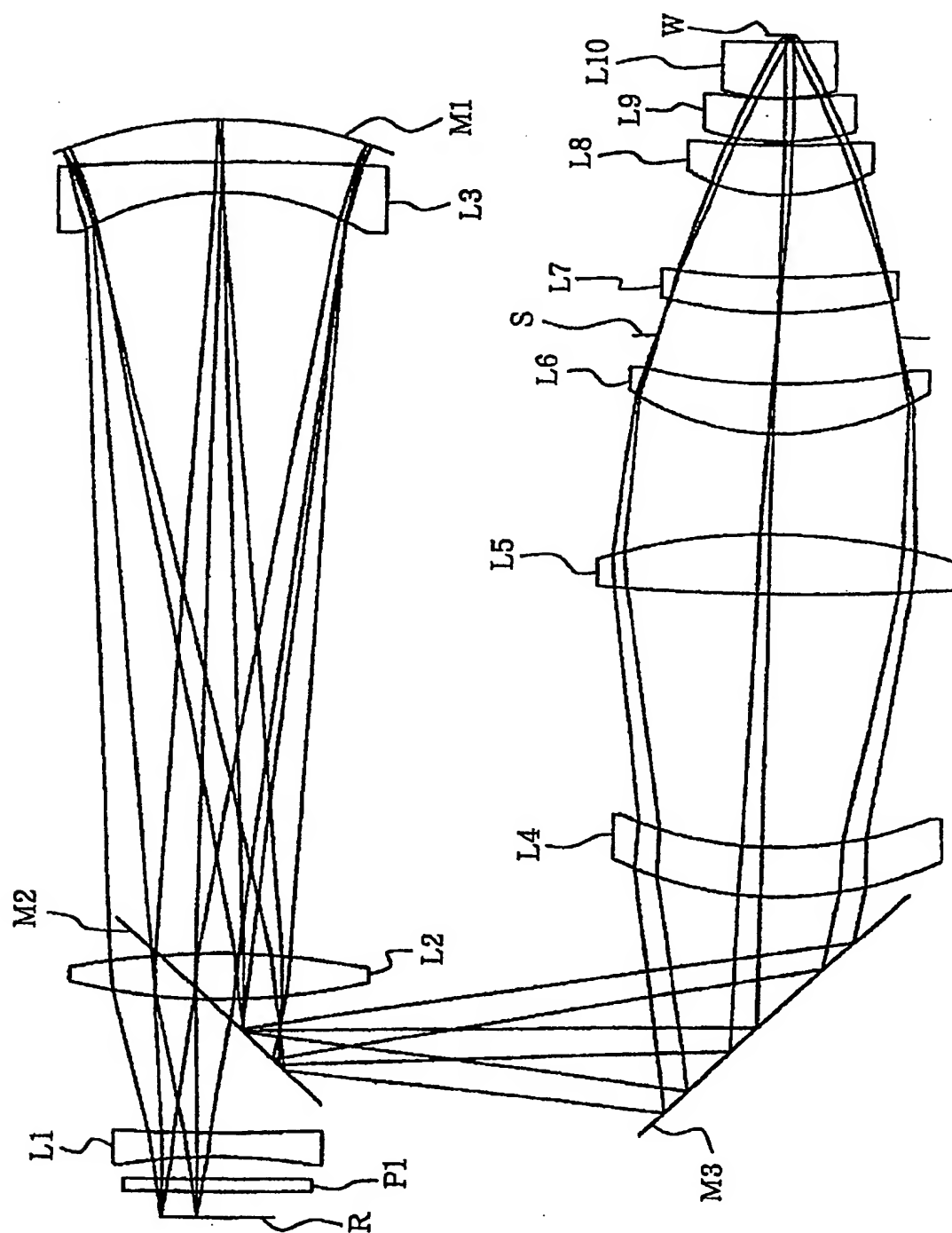
13/24

## 第 13 図

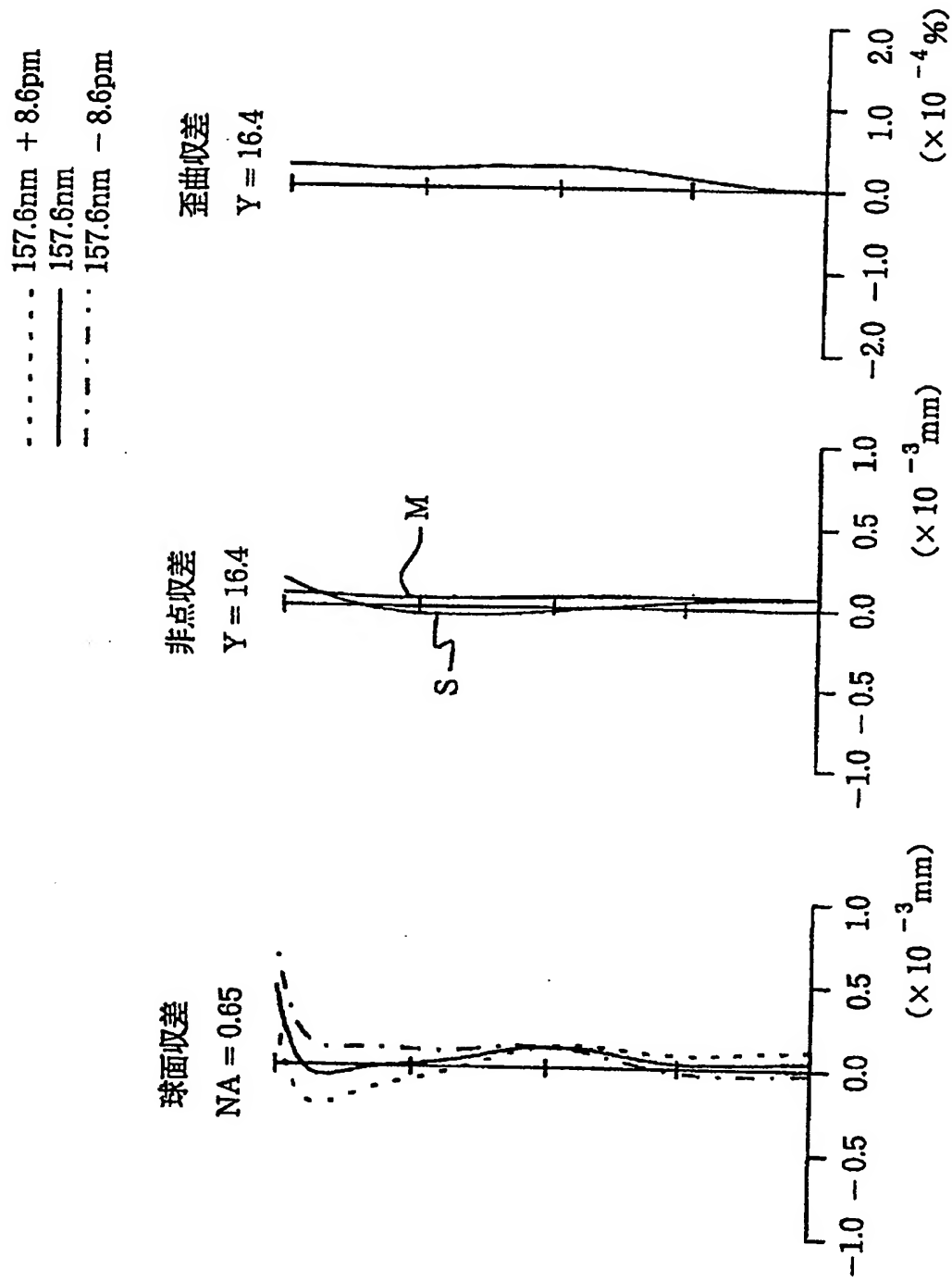


14/24

第 14 図

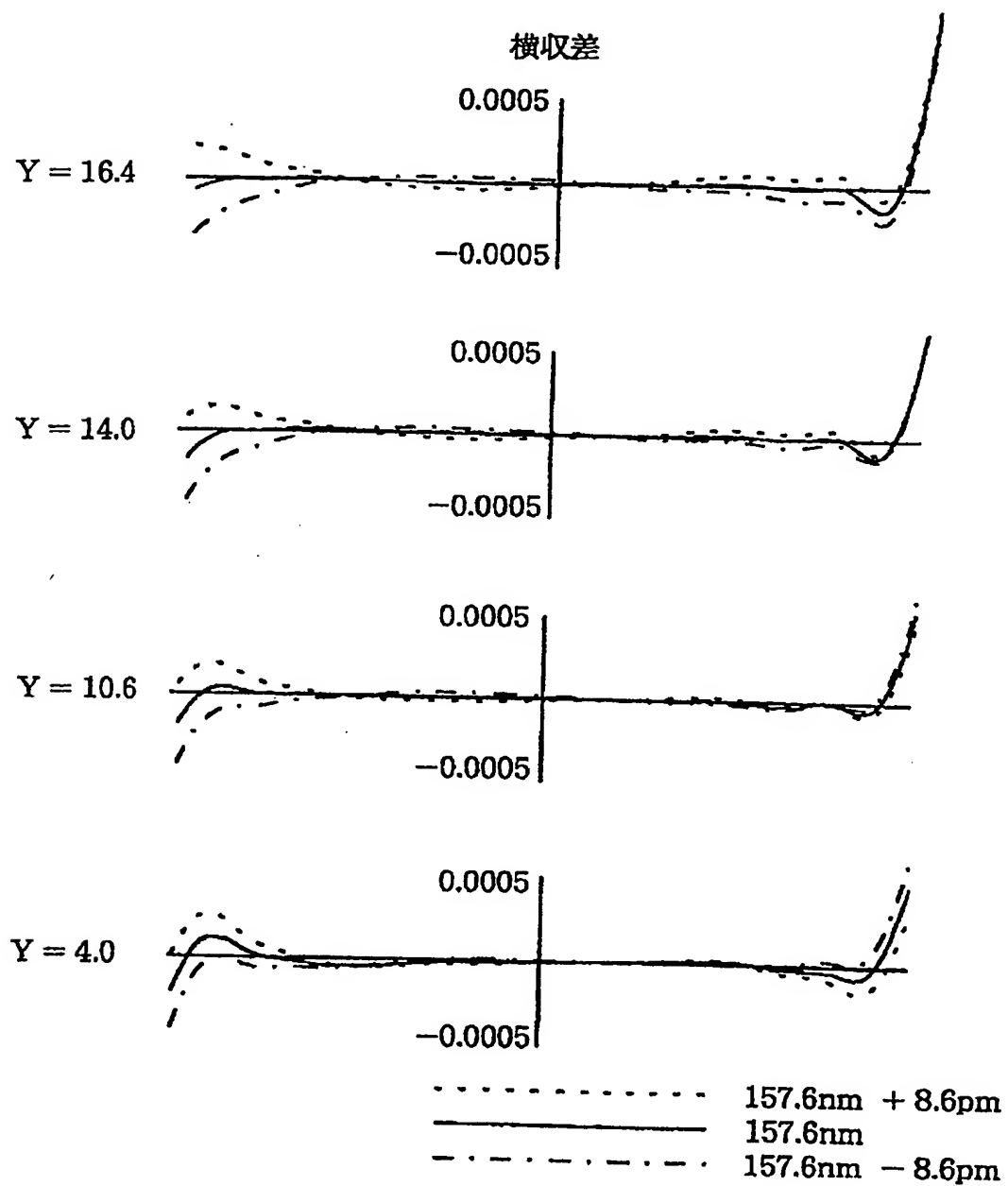


第 15 图



16/24

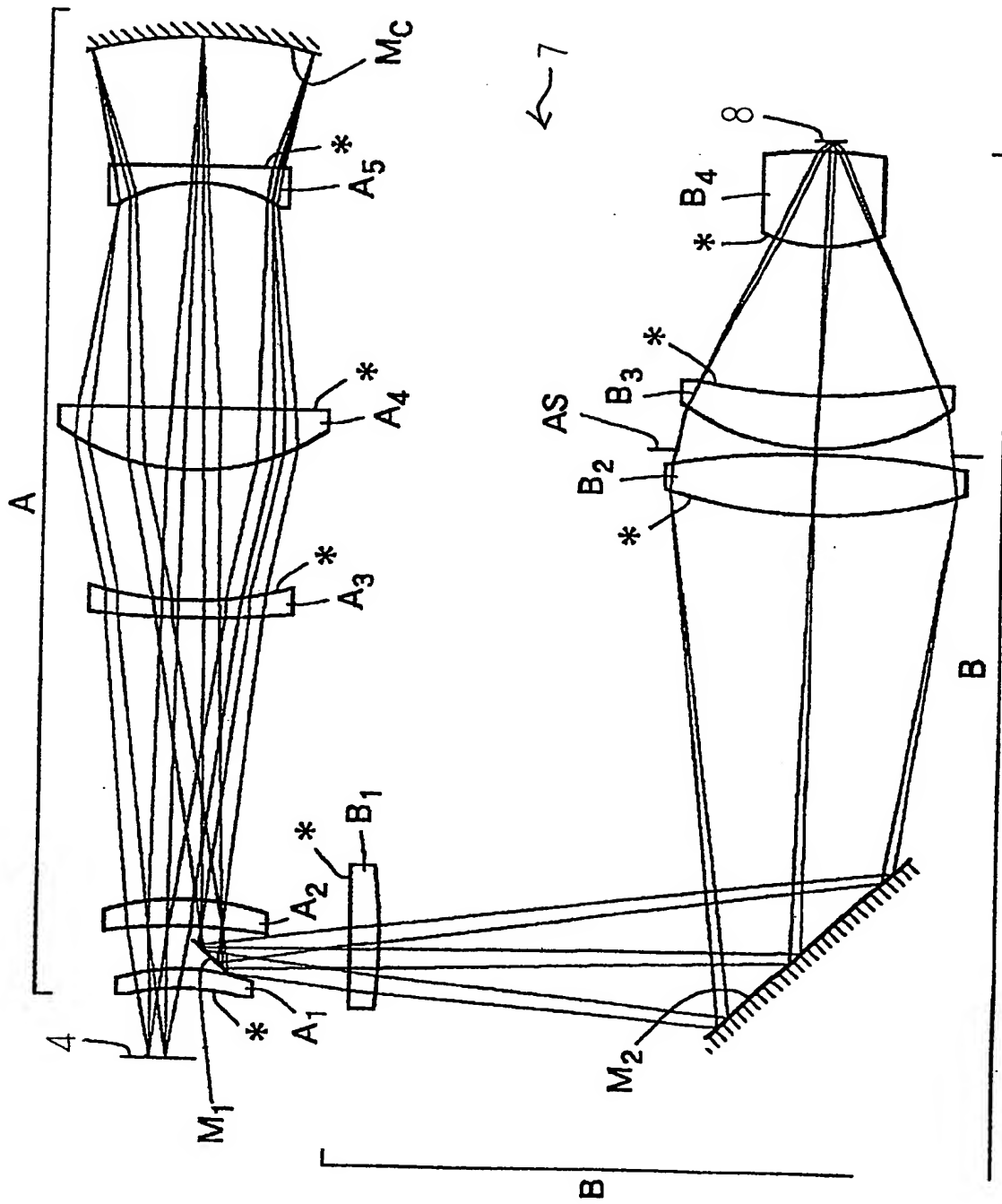
## 第 16 図





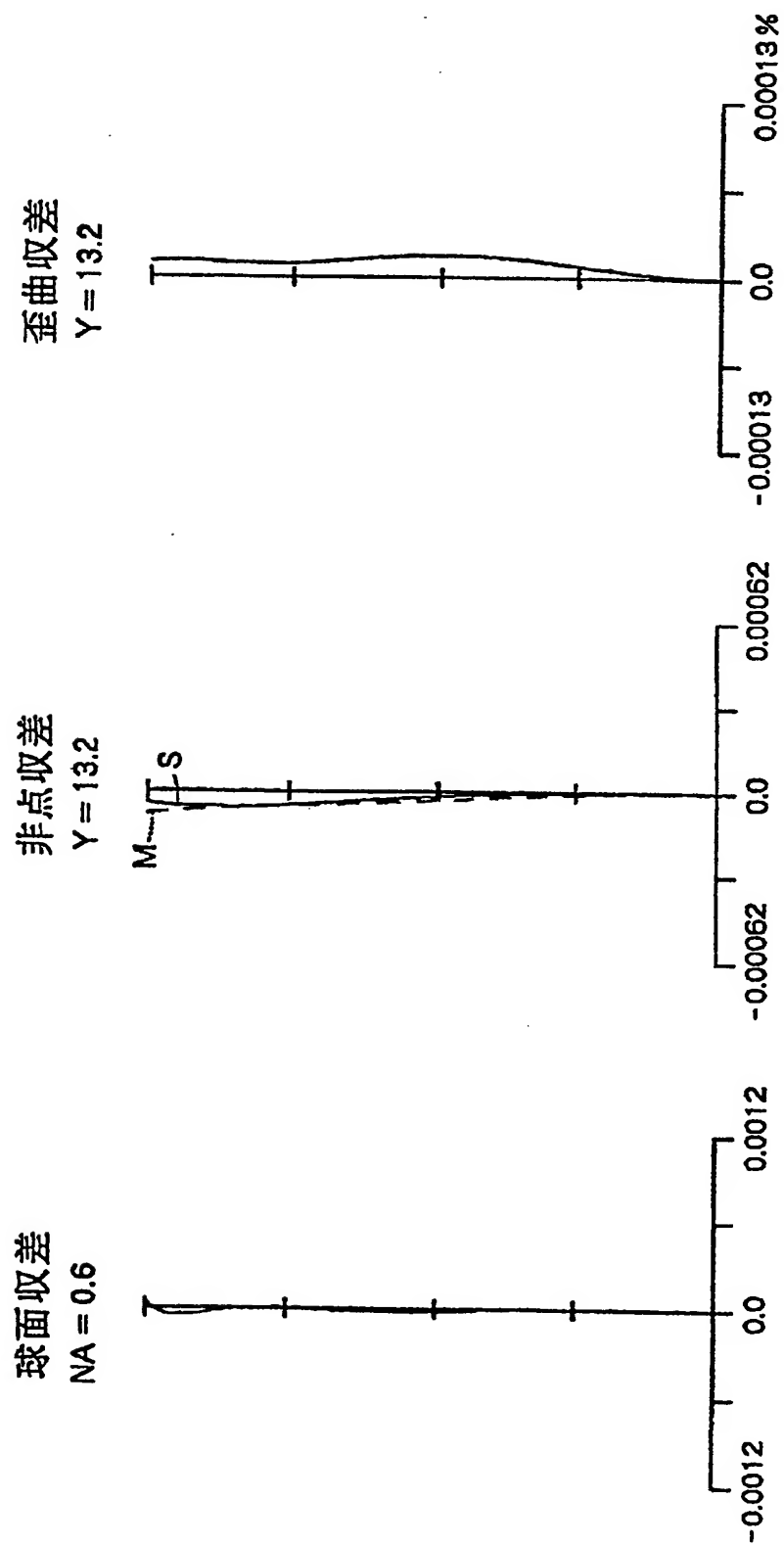
第 17 図

17/24



18/24

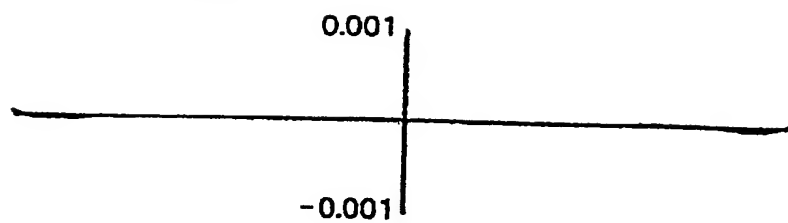
第 18 図



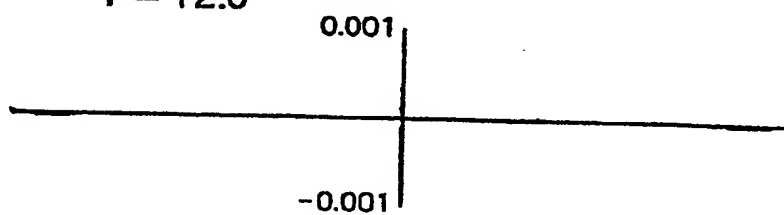
第 19 図

19/24

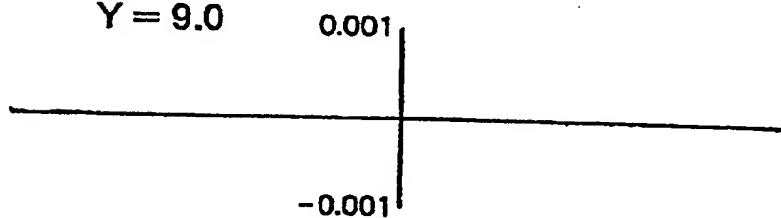
$$Y = 13.2$$



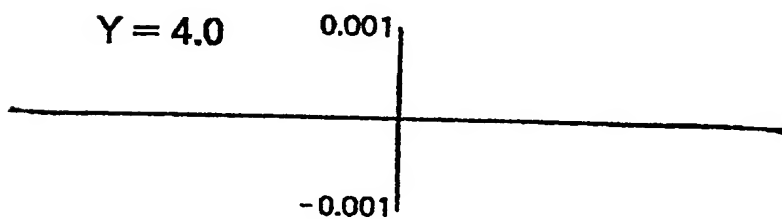
$$Y = 12.0$$



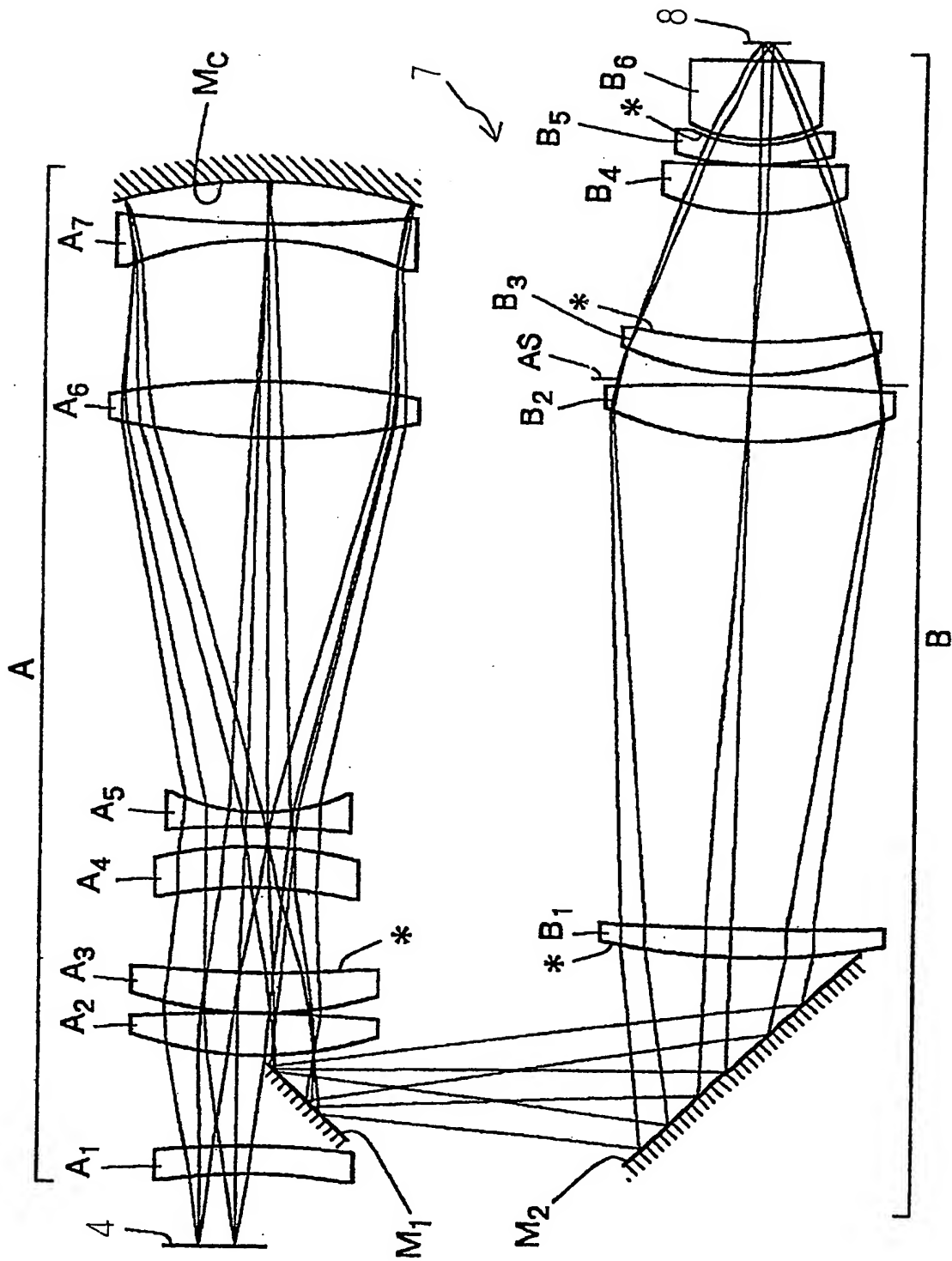
$$Y = 9.0$$



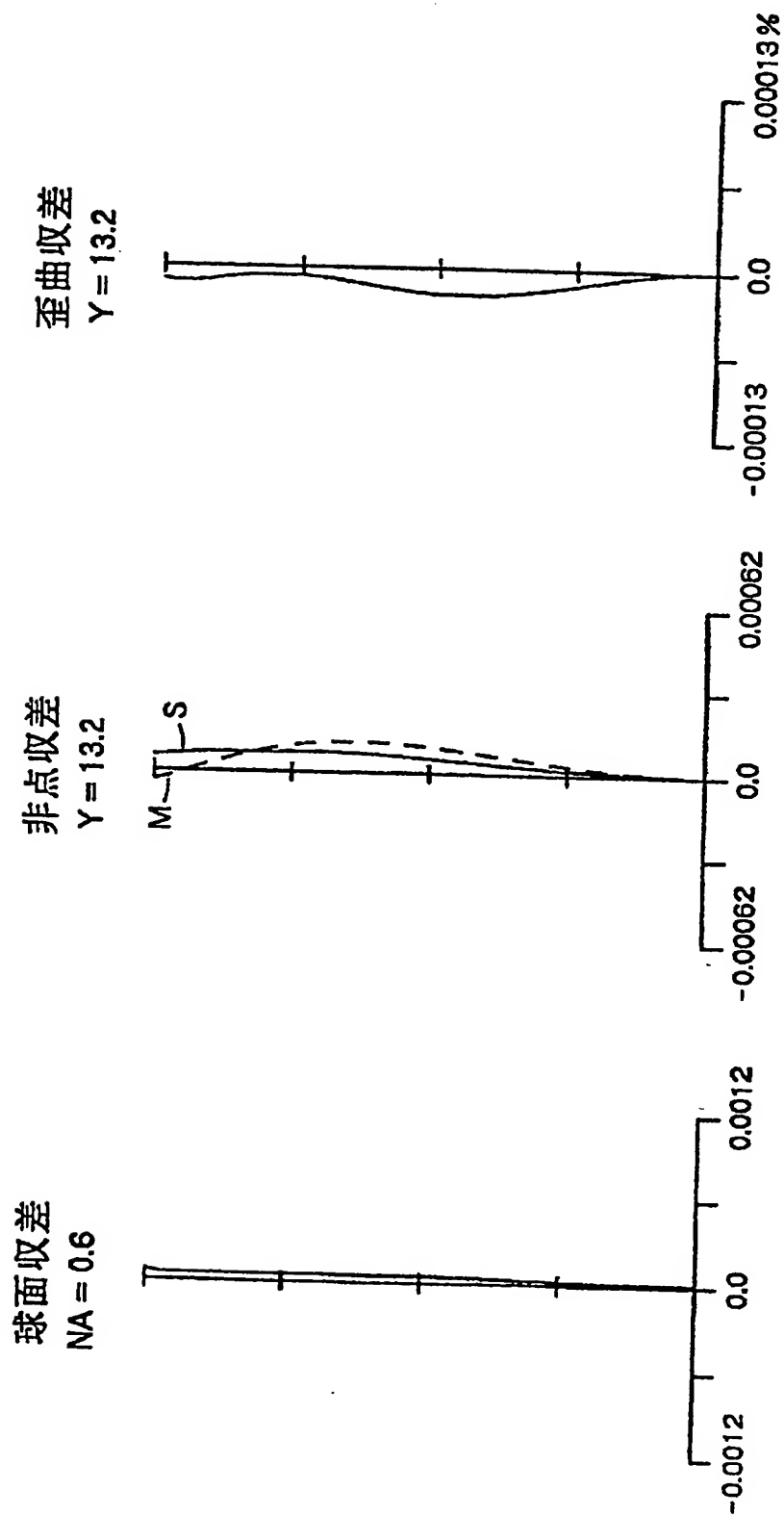
$$Y = 4.0$$



第 20 図

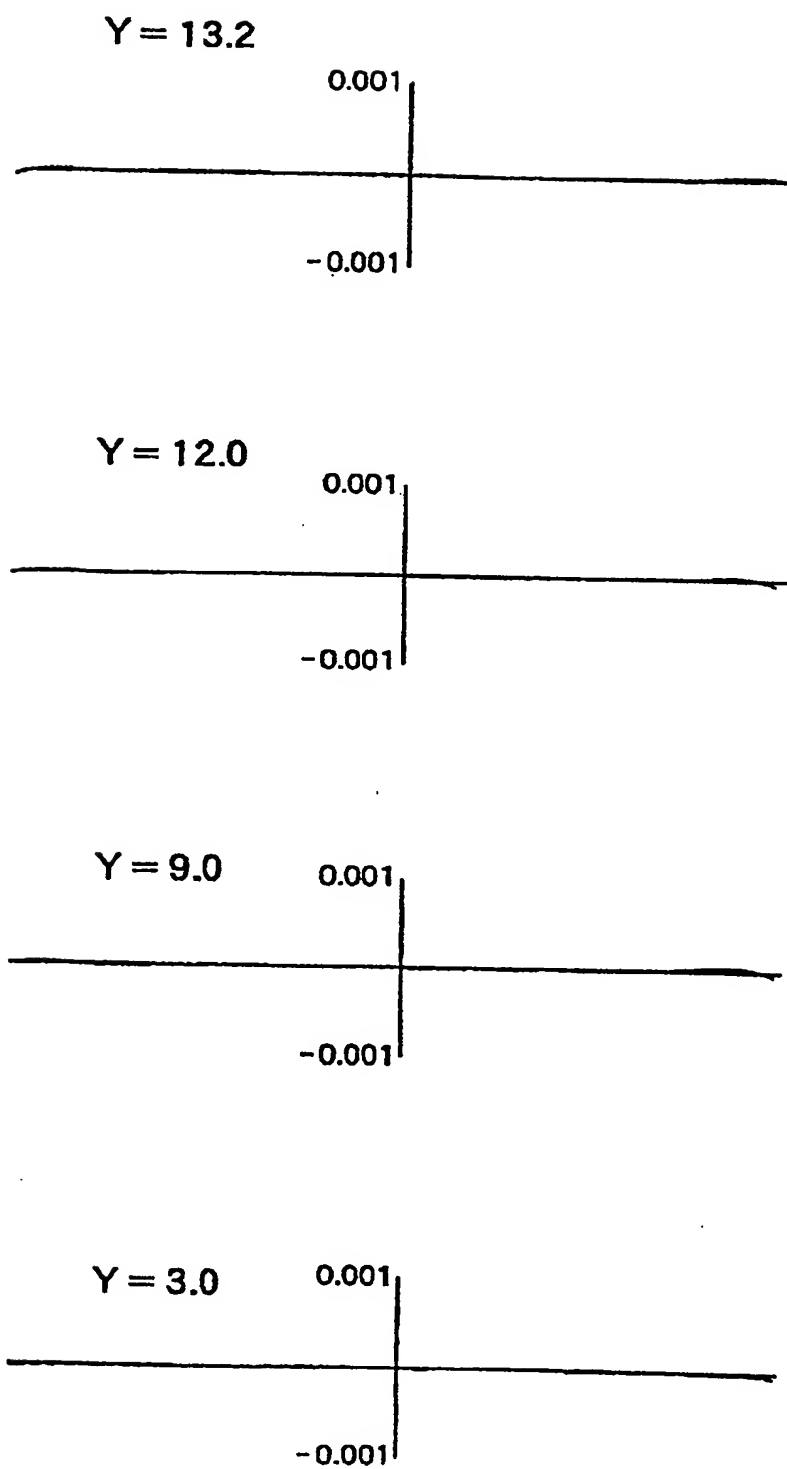


第 21 図



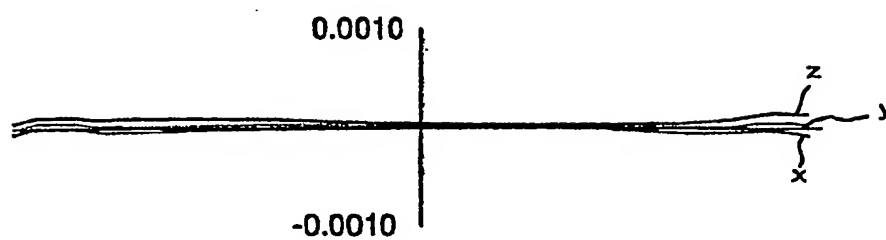
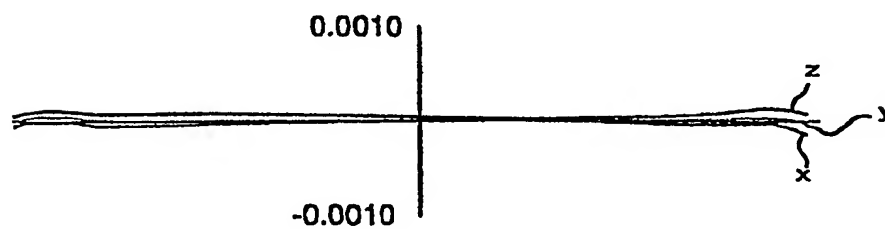
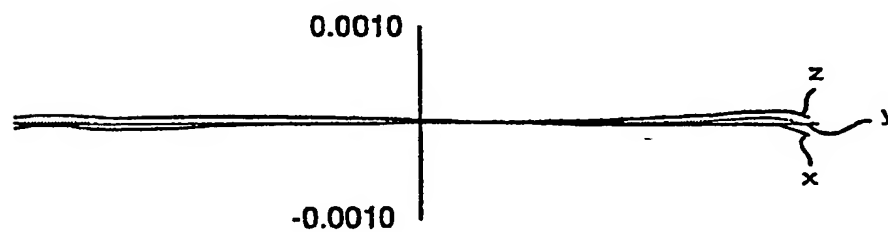
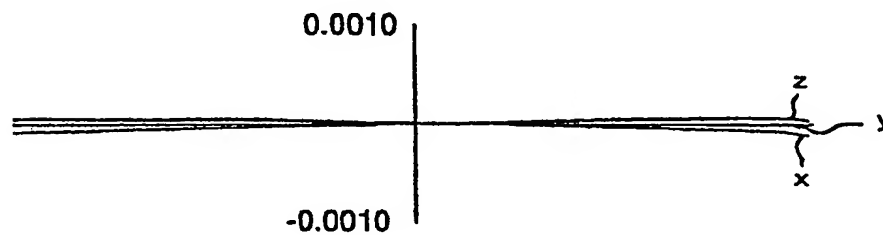
22/24

第 22 図

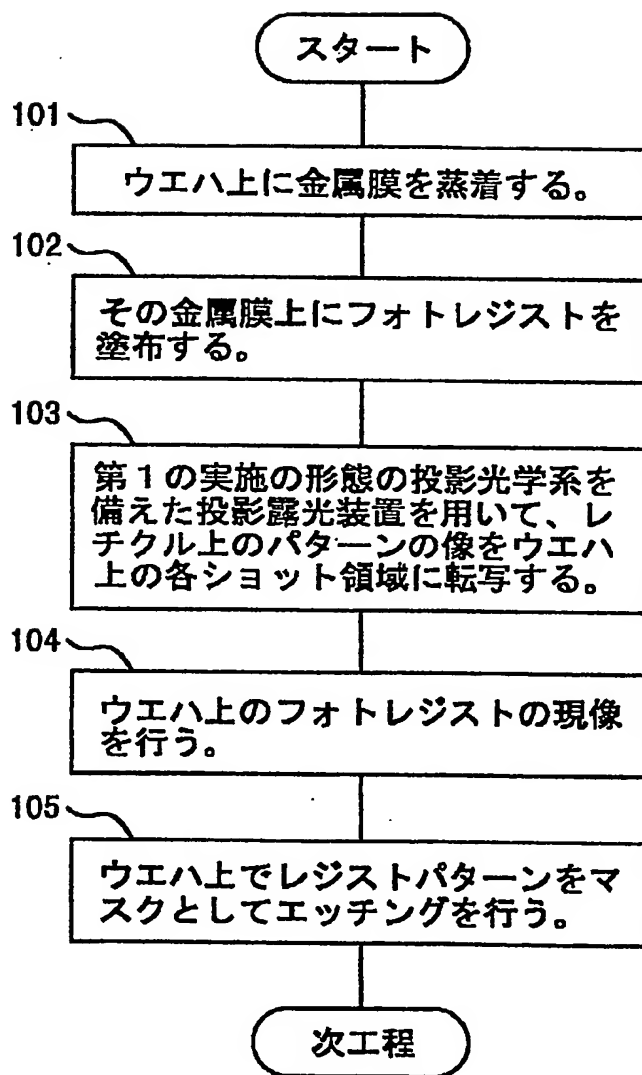


第 23 図

23/24

 $Y=13.2$  $Y=12.0$  $Y=9.0$  $Y=3.0$ 

## 第 24 図





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/01807

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>6</sup> G02B17/08, H01L21/027

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>6</sup> G02B17/08, H01L21/027

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1999 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, Y	JP, 11-109244, A (Nikon Corp.), 23 April, 1999 (23. 04. 99), Claims 1 to 6 ; all drawings (Family: none)	1-50
P, Y	JP, 10-308345, A (Nikon Corp.), 17 November, 1998 (17. 11. 98), Claims 1 to 6 ; all drawings (Family: none)	1-50
Y	JP, 10-20197, A (Nikon Corp.), 23 January, 1998 (23. 01. 98), Claims 1, 2 ; all drawings & US, 5835284, A & KR, 98005331, A	1-50
Y	JP, 10-10431, A (Nikon Corp.), 16 January, 1998 (16. 01. 98), Claims 1 to 7 ; all drawings & DE, 19726058, A1 & KR, 98005328, A	1-50
Y	JP, 10-10429, A (Nikon Corp.), 16 January, 1998 (16. 01. 98), Claims 1 to 5 ; all drawings (Family: none)	1-50

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
17 June, 1999 (17. 06. 99)

Date of mailing of the international search report  
29 June, 1999 (29. 06. 99)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/01807

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 10-3039, A (Nikon Corp.), 6 January, 1998 (06. 01. 98), Claims 1 to 5 ; all drawings & EP, 816892, A2 & KR, 98005325, A	1-50
Y	JP, 9-82625, A (Nikon Corp.), 28 March, 1997 (28. 03. 97), Claims 1 to 4 ; all drawings & KR, 97017959, A & US, 5877843, A	43
Y	JP, 9-246130, A (Nikon Corp.), 19 September, 1997 (19. 09. 97), Claims 1 to 6 ; all drawings & KR, 97067591, A	27-29, 39-44
Y	JP, 9-134865, A (Nikon Corp.), 20 May, 1997 (20. 05. 97), Claims 1 to 3 ; all drawings & KR, 97012978, A & US, 5883704, A	27-29, 39-44
Y	JP, 9-162117, A (Nikon Corp.), 20 June, 1997 (20. 06. 97), Claims 1 to 7 ; all drawings (Family: none)	27-29, 39-44
Y	JP, 6-260385, A (Nikon Corp.), 16 September, 1994 (16. 09. 94), Claims 1 to 9 ; all drawings & US, 5559584, A	27-29, 39-44
Y	JP, 7-209569, A (ASM Lithography B.V.), 11 August, 1995 (11. 08. 95), Claims 1, 2 ; all drawings & EP, 660188, A1 & BE, 1007907, A3 & US, 5602683, A & TW, 318212, A & DE, 69417185, E	27-29, 39-44
Y	JP, 7-321005, A (Nikon Corp.), 8 December, 1995 (08. 12. 95), Claims 1 to 4 ; all drawings (Family: none)	27-29, 39-44
Y	JP, 8-279458, A (Nikon Corp.), 22 October, 1996 (22. 10. 96), Claims 1 to 6 ; all drawings (Family: none)	27-29, 39-44
Y	JP, 4-251812, A (Nikon Corp.), 8 September, 1992 (08. 09. 92), Fig. 2 & EP, 470541, A & US, 5159172, A & DE, 69113715, E	27-29, 39-41
Y	JP, 61-129828, A (Canon Inc.), 17 June, 1986 (17. 06. 86), Claims 1 to 5 ; Figs. 1, 2 & DE, 3447489, A & GB, 2153543, A & US, 4891663, A & US, 4977426, A	1-50

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/01807

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 8-17720, A (Nikon Corp.), 19 January, 1996 (19. 01. 96) (Family: none)	1-50

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/01807

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. The invention of claim 1 relates to a projection exposure apparatus comprising an illumination optical system for illuminating a mask on which a pattern is formed and a projection optical system for forming the image of the pattern on a work based on radiation from the mask, and involving a special technical feature that the projection optical system is provided with at least one concave mirror, at most 15 refraction lenses and at least 4 aspherical surfaces.

Claims 2 to 9 are dependent claims referring to claim 1 and subsequent claims.

The invention of claim 10 relates to an exposure method for forming the

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
  
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
  
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☒ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No. II of continuation of first sheet (1)

image of a pattern on a work by using a projection exposure apparatus stated in any one of claims 1 to 9.

2. The invention of claim 11 relates to a refraction reflection optical system comprising a first image-forming optical system including a concave mirror, a second image-forming optical system including an aperture stop, and a reflecting surface, and involving a special technical feature that an intermediate image is formed on a first surface by the first image-forming optical system, a re-formed image of the intermediate image is formed on a second surface by the second image-forming optical system, the reflecting surface is so disposed as to direct the light beam from the first image-forming optical system to the second image-forming optical system, and the reflection refraction optical system has at most 15 refraction lenses and at least four aspherical surfaces.

Claim 12 is a dependent claim referring to claim 11.

3. The invention of claim 13 relates to a projection exposure apparatus comprising an illumination optical system for illuminating a mask on which a pattern is formed and a refraction refraction projection optical system for forming the image of the pattern on a work based on light from the mask, and involving a special technical feature that the projection optical system has a lens component and a concave reflecting mirror both being so positioned as to substantially correct the chromatic aberration of the projection optical system with respect to the illuminating light.

Claims 14 to 26 are dependent claims referring to claim 13 and subsequent claims.

Claims 45 and 46 are dependent claims referring to claim 13 and subsequent claims.

Claim 47 is a dependent claim referring to claim 45.

4. The invention of claim 27 relates to a projection exposure apparatus comprising an illumination optical system for illuminating a mask on which a pattern is formed and a refraction refraction projection optical system for forming the image of the pattern on a work based on light from the mask, and involving a special technical feature that the projection optical system has an optical member having a refractive power and a light-transmitting optical member disposed near the mask so as to isolate the optical member having refractive power from the external atmosphere, and the interval between the mask and the light-transmitting optical member along the optical axis of the projection optical system is 50 mm or less.

Claims 28 to 44 are dependent claims referring to claim 27 and subsequent claims.

5. The invention of claim 48 relates to a projection exposure apparatus comprising an illumination optical system for illuminating a mask on which a pattern is formed and a refraction refraction projection optical system for forming the image of the pattern on a work based on light from the mask, and involving a special technical feature that the projection exposure apparatus further comprises a first image-forming optical system including a concave reflecting mirror disposed along a first optical axis and a refracting optical member and adapted for forming an intermediate image of the pattern, a second image-forming optical system including a refracting optical member disposed along a second optical axis and adapted for forming a reduced image of the intermediate image on the work, a first light path bending member disposed between the first and second image-forming optical systems, and a second light path bending member disposed between the light path bending member and the second image-forming optical system, the first

Continuation of Box No. II of continuation of first sheet (1)

and second optical axes are parallel to each other, and no refraction optical member is interposed between first and second optical path bending members.

Claim 49 is a dependent claim referring to claim 48.

The invention of claim 50 relates to an exposure method for forming an image of a pattern provided on a mask by using a projection exposure apparatus stated in claim 49.

The idea of forming an intermediate image by using a first image-forming optical system and re-forming an image of the intermediate image by using a second image-forming optical system is essential to the technical features of the group of inventions of item 2. and inessential to the group of inventions of item 1. The two groups have no common premise optical system, and therefore involve no common special technical features.

According to the group of inventions of item 2., the number of lenses constituting the refraction reflection optical system and the number of spherical surfaces are specified, while according to the group of inventions of item 1., they are not specified. The two groups have no common specific constituent elements of the refraction reflection optical system, and therefore involve no common special technical features.

Obviously, the other groups of inventions involve no common special technical features.

Therefore, there is no technical relationship among the groups of inventions of items 1. to 5. involving one or more of the same special technical features in accordance with PCT Rule 13.2.

Hence, the groups of inventions of items 1. to 5. are not so linked as to form a single general inventive concept.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl.<sup>8</sup> G02B17/08, H01L21/027

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl.<sup>8</sup> G02B17/08, H01L21/027

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1999年  
日本国公開実用新案公報 1971-1999年  
日本国登録実用新案公報 1994-1999年  
日本国実用新案登録公報 1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, Y	J P, 11-109244, A (株式会社ニコン), 23. 4 月. 1999 (23. 04. 99), 請求の範囲1-6, 全図, (ファミリーなし)	1-50
P, Y	J P, 10-308345, A (株式会社ニコン), 17. 11 月. 1998 (17. 11. 98), 請求の範囲1-6, 全図, (ファミリーなし)	1-50
Y	J P, 10-20197, A (株式会社ニコン), 23. 1月. 1998 (23. 01. 98), 請求の範囲1-2, 全図, US, 5835284, A&KR, 98005331, A	1-50
Y	J P, 10-10431, A (株式会社ニコン), 16. 1月. 1998 (16. 01. 98), 請求の範囲1-7, 全図, &D E, 19726058, A1&KR, 98005328, A	1-50

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17. 06. 99

国際調査報告の発送日

29.06.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

森内 正明

印

2 V

9 2 2 2

電話番号 03-3581-1101 内線 3269

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 10-10429, A (株式会社ニコン), 16. 1月. 1998 (16. 01. 98), 請求の範囲1-5, 全図, (ファミ リリーなし)	1-50
Y	JP, 10-3039, A (株式会社ニコン), 6. 1月. 19 98 (06. 01. 98), 請求の範囲1-5, 全図, &EP, 8 16892, A2&KR, 98005325, A	1-50
Y	JP, 9-82625, A (株式会社ニコン), 28. 3月. 1 97 (28. 03. 97), 請求の範囲1-4, 全図, &KR, 9 7017959, A&US, 5877843, A	43
Y	JP, 9-246130, A (株式会社ニコン), 19. 9月. 1997 (19. 09. 97), 請求の範囲1-6, 全図, &K R, 97067591, A	27-29, 39-44
Y	JP, 9-134865, A (株式会社ニコン), 20. 5月. 1997 (20. 05. 97), 請求の範囲1-3, 全図, &K R, 97012978, A&US, 5883704, A	27-29, 39-44
Y	JP, 9-162117, A (株式会社ニコン), 20. 6月. 1997 (20. 06. 97), 請求の範囲1-7, 全図, (ファミ リリーなし)	27-29, 39-44
Y	JP, 6-260385, A (株式会社ニコン), 16. 9 月. 1994 (16. 09. 94), 請求の範囲1-9, 全図, & US, 5559584, A	27-29, 39-44
Y	JP, 7-209569, A (アーエスエム リソグラフィ ベ スローテン フェンノートシャップ), 11. 8月. 1995 (1 1. 08. 95), 請求の範囲1-2, 全図, &EP, 66018 8, A1&BE, 1007907, A3&US, 5602683, A&TW, 318212, A&DE, 69417185, E	27-29, 39-44
Y	JP, 7-321005, A (株式会社ニコン), 8. 12 月. 1995 (08. 12. 95), 請求の範囲1-4, 全図, (ファミリリーなし)	27-29, 39-44
Y	JP, 8-279458, A (株式会社ニコン), 22. 10 月. 1996 (22. 10. 96), 請求の範囲1-6, 全図, (ファミリリーなし)	27-29, 39-44
Y	JP, 4-251812, A (株式会社ニコン), 8. 9月. 1992 (08. 09. 92), 図2, &EP, 470541, A &US, 5159172, A&DE, 69113715, E	27-29, 39-41
Y	JP, 61-129828, A (キャノン株式会社), 17. 6月. 1986 (17. 06. 86), 請求の範囲1-5, 図1- 2, &DE, 3447489, A&GB, 2153543, A&U S, 4891663, A&US, 4977426, A	1-50
A	JP, 8-17720, A (株式会社ニコン), 19. 1月. 1 996 (19. 01. 96), (ファミリリーなし)	1-50



## 第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項(PCT17条(2)(a))の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

1. 請求の範囲1の発明は、パターンが形成されたマスクを照明する照明光学系と、前記マスクからの放射に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための投影光学系とを有した投影露光装置において、前記投影光学系として、少なくとも1つの凹面鏡と、15枚以下の屈折レンズとを有し、且つ4面以上の非球面を有する点を技術的特徴とする発明である。

また、請求の範囲2-9は前記請求の範囲1以下を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

また、請求の範囲10は、請求の範囲1-9のいずれかの投影露光装置を用いてマスク上のパターンの像をワーク上に形成する露光方法の発明である。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

## I I 欄の続き

2. 請求の範囲 1 1 は、凹面鏡を含む第 1 結像光学系、開口絞りを含む第 2 結像光学系と反射面を設けた反射屈折光学系において、前記第 1 結像光学系によって、第 1 面の中間像を形成し、前記第 2 結像光学系によって前記中間像の再結像を第 2 面上に形成し、前記第 1 結像光学系からの光束を前記第 2 結像光学系に導くように反射面を配置し、また、反射屈折光学系は 15 枚以下の屈折レンズを有し、且つ 4 面以上の非球面を有することを技術的特徴とする屈折反射光学系の発明である。

また、請求の範囲 1 2 は、請求の範囲 1 1 を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

3. 請求の範囲 1 3 の発明は、パターンが形成されたマスクを照明する照明光学系と、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための反射屈折型の投影光学系とを有した投影露光装置において、前記投影光学系は、レンズ成分と凹面反射鏡を有して、前記レンズ成分および前記凹面反射鏡は、照明光に対する前記投影光学系の色収差を実質的に補正するように位置決めされている点を技術的特徴とする発明である。

また、請求の範囲 1 4 - 2 6 は、請求の範囲 1 3 以下を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

また、請求の範囲 4 5 - 4 6 の発明は、請求の範囲 1 3 以下の引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

また、請求範囲 4 7 の発明は、請求の範囲 4 5 を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

4. 請求の範囲 2 7 は、パターンが形成されたマスクを照明するため照明光学系と、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための反射屈折型の投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記投影光学系は、屈折力を有する光学部材と、前記マスクに近接して配置されて前記屈折力を有する光学部材を外部の雰囲気と隔てるための光透過性の光学部材を有し、また、前記投影光学系の光軸と平行な方向に沿った前記マスクと前記光透過性の光学部材との間の間隔は 50 mm 以下に設定されている点を技術的特徴とする投影露光装置の発明である。

また、請求の範囲 2 8 - 4 4 は、請求の範囲 2 7 以下を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

5. 請求の範囲 4 8 は、パターンが形成されたマスクを照明するため照明光学系と、前記マスクからの光に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための反射屈折型の投影光学系とを備えた投影露光装置において、第 1 の光軸に沿って配置された凹面反射鏡および屈折光学部材からなり、前記パターンの中間像を形成する第 1 結像光学系と、第 2 の光軸に沿って配置された屈折光学部材を有し、前記中間像の縮小像を前記ワーク上に形成する第 2 結像光学系と、前記第 1 結像光学系と前記第 2 結像光学系との間に配置された第 1 光路偏向部材と、前記光路偏向部材と前記第 2 結像光学系との間に配置された第 2 光路偏向部材とを備え、前記第 1 および第 2 の光軸は互いに平行であり、かつ前記第 1 および第 2 光路偏向部材の間に屈折光学部材を介在しないことを技術的特徴とする投影露光装置の発明である。

また、請求の範囲 4 9 は、請求の範囲 4 9 を引用する引用形式の請求の範囲の発明である。

また、請求の範囲 5 0 は、請求の範囲 4 9 に記載と投影露光装置を用いてマスク上のパターンの像をワーク上に形成する露光方法の発明である。

上記 2. の発明の群は、第 1 の結像光学系によって中間像を形成し、さらに前記中間像を第 2 結像光学系により再結像する点が必須であり、その点は上記 1. の発明の群では必須の事項ではなく、両者は前提の光学系が共通してなく、特別な技術的特徴を同じくするものではない。

また、上記 2. の発明の群では、屈折反射光学系を構成するレンズ枚数や非球面の面数などを特定しているが、上記 5. の発明の群では、その点は特定してなく、両者は、屈折反射光学系の具体的な構成要素が共通してなく、特別な技術的な特徴を同じくするものではない。

それ以外の発明の群同士の間では、特に言うまでもなく、特別な技術的な特徴を同じくするものではない。

したがって、上記 1. - 5. の請求の範囲の群の間において、PCT規則 13. 2 の意味において特別な技術的特徴と考えられる共通の事項は存在しない。

よって、上記 1. - 5. の発明の群の間で発明の単一性は満たしていない。